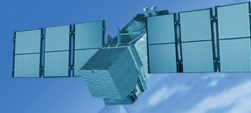


[Cilt/Volume:10] [Sayı/Issue:02] [Kasım/November 2023] [Dergi No/Journal No.:118] [ISSN: 2147-1339] [e-ISSN: 2667-8519]

JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON DERGİSİ

JOURNAL OF
GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

Yayıncı / Publisher

TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası
UCTEA Chamber of Surveying and Cadastre Engineers, Turkey

Yayın İdare Merkezi / Head Office

Mustafa Kemal Mahallesi 2129 Sk. No:1/7-8-9 06530 Çankaya, ANKARA, TURKEY
Tel: +90 (312) 2325777 • Fax: +90 (312) 2308574
jjd@hkmo.org.tr ; hkmojjd@gmail.com
dergipark.org.tr/hkmojjd

Tasarım ve Mizanpaj / Design & Layout

Önder Olgun Bökü

Baskı & Cilt / Printing & Binding

Elma Teknik Basım
www.elmateknikbasim.com/
Tel: +90 312 229 92 65

Basım Tarihi / Publication Date: Kasım 2023 / November 2023

Baskı Adedi / Circulation: 2000

Hakemli bir dergidir. / A Peer - reviewed journal.

Yaygın ve süreli yayındır. / A widely distributed periodical.

Yılda iki defa yayımlanır (Mayıs - Kasım) / Published semiannually (May - November).

[Cilt/Volume:10] [Sayı/Issue:02] [Kasım/November 2023] [Dergi No/Journal No.:118]

[ISSN: 2147-1339] [e-ISSN: 2667-8519]

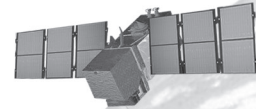


UCTEA

Chamber of Surveying and Cadastre Engineers

JEODEZİ VE JEOİFORMASYON DERGİSİ

JOURNAL OF
GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers

JEODEZİ VE JOURNAL OF GEODESY

EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
İstanbul

EDİTÖR YARDIMCILARI / CO-EDITORS

Prof. Dr. Tarık TÜRK
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Sivas

Prof. Dr. Nursu TUNALIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi
İstanbul

EDİTÖR KURULU / EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Atınç PIRTI
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Cemal Özer YİĞİT
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Cengizhan İPBÜKER
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Çetin CÖMERT
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof. Dr. Çetin MEKİK
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Devrim AKÇA
Işık Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. Emine Tanır KAYIKÇI
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof. Dr. Erol KÖKTÜRK
Okan Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. Halil AKINCI
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

Prof. Dr. Haluk ÖZENER
Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Haluk KONAK
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Hülya DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Hüseyin TOPAN
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak

Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ
Karabük Üniversitesi, Karabük

Prof. Dr. Mahmut Onur KARSLIOĞLU
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Metin SOYCAN
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof. Dr. Murat UYSAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar

Prof. Dr. Mustafa TÜRKER
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Naci YASTIKLI
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Necla ULUĞTEKİN
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR
Ankara Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Özgün AKÇAY
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Prof. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN
Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak

Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Uğur AVDAN
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir

Prof. Dr. Uğur DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Volkan ÇAĞDAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

Doç. Dr. Caner GÜNEY
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. Melis UZAR,
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. M. Tefvik ÖZLÜDEMİR
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. Nusret DEMİR
Akdeniz Üniversitesi, Antalya

Doç. Dr. Saygın ABDİKAN
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Doç. Dr. Taylan ÖCALAN
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Dr. Öğr. Üyesi Emin Özgür AVŞAR
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Güven KOÇAK
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir

Dr. Öğr. Üyesi Utkan Mustafa DURDAĞ
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

SAHİBİ (HKMO adına)

OWNER (on behalf of CSCE)

Ali İPEK

HKMO, Ankara

YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ

MANAGING EDITOR

Timur Bilinç BATUR

HKMO, Ankara

YAYIN KURULU / PUBLICATION BOARD

Bahattin ERDOĞAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Nursu TUNALIOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Tarık TÜRK, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

Taylan ÖCALAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Onur SEVENCAN, HKMO, Ankara

JEOİNFORMASYON DERGİSİ AND GEOINFORMATION

Dergi Hakkında

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası'na ait altı ayda bir yayımlanan (Mayıs ve Kasım ayları), hakemli, açık erişimli, süreli, özgün makalelerin yer aldığı bilimsel bir dergidir. Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 2019 yılından itibaren ULAKBİM TR DİZİN'de yer almaktadır.

Amaç ve Kapsam

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, jeodezi, jeoinformasyon bilimleri ve teknolojileri konularında geniş kapsamlı araştırma alanlarını içermektedir. Geleneksel çalışma alanlarının yanında, yer bilimleri, yere yönelik uzay bilimleri ve ilişkili disiplinler arası çalışmalara da dergide yer verilmektedir.

Dergide en az iki bilim insanı veya araştırmacı tarafından hakem değerlendirmesinden geçmiş, aşağıda listelenen alanlarda Türkçe veya İngilizce makaleler yayımlanmaktadır.

- Ölçme ve Algılama Sistemleri
- Matematiksel, Fiziksel, Uzay ve Mühendislik Jeodezisi
- Yer Bilimleri
- Uzaktan Algılama
- Fotogrametri
- Yere Yönelik Uzay Bilimleri
- Kartografya
- Coğrafi Bilgi Sistem ve Teknolojileri
- Arazi Yönetimi
- Yazılım Geliştirme

Makale Gönderme

Makale gönderme, değerlendirme ve düzenleme süreçleri <https://dergipark.org.tr/tr/pub/hkmojjd> sistemi üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Telif Hakkı Bildirimi

Jeodezi ve Jeoinformasyon dergisi ücretsiz ve açık erişimli bir dergidir. Uygun şekilde kaynak göstermek koşulu ile makalenin herhangi bir bölümünün araştırma, çalışma, ders veya bilimsel ve teknik dokümanlarda kullanımı ücretsizdir. Ticari amaçla kopyalanması ve kullanımı TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası'ndan alınacak özel izne tabidir.

Yayın Etiği

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi bünyesindeki tüm yayınlar için yayın etiğini en yüksek standartlarda uygulamayı amaçlar ve "The Committee on Publication Ethics (COPE)" tarafından ortaya konulan kural ve ilkelere uymayı taahhüt eder.

About the Journal

Journal of Geodesy and Geoinformation is a peer-reviewed, semiannual (May and November), open access journal, which covers original scientific manuscripts, published by UCTEA Chamber of Surveying and Cadastre Engineers, Turkey. The Journal of Geodesy and Geoinformation has been indexed in ULAKBİM TR DİZİN since 2019.

Aim and Scopes

Journal of Geodesy and Geoinformation covers a broad range of research topics in geodetic and geoinformation sciences and technologies. Besides the traditional areas, it also includes study fields concerned with the earth sciences, earth-oriented space sciences and related interdisciplinary subjects.

The journal publishes peer-reviewed papers in the fields listed below in both English and Turkish, which are reviewed by at least two scientists and researchers.

- Surveying and Sensoric
- Mathematical, Physical, Space and Engineering Geodesy
- Earth Sciences
- Remote Sensing
- Photogrammetry
- Earth Oriented Space Sciences
- Cartography
- Geographical Information Systems and Technologies
- Land Management
- Software Development

Submission of Manuscript

Manuscript submission, review and editing processes are available on <https://dergipark.org.tr/en/pub/hkmojjd>

Copyright Information

Journal of Geodesy and Geoinformation is an open access and free of charge journal. There is no charge for use of any part of this publication in research, study, teaching or republications in scientific and technical documents, but the materials must be cited appropriately. Use and reproduction for commercial purposes requires special permission from Chamber of Surveying and Cadastre Engineers.

Publication Ethics

Journal of Geodesy and Geoinformation aims to apply high quality ethical standards for all publications and commits to obey the rules and principles of "The Committee on Publication Ethics (COPE)".

İÇİNDEKİLER

CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

Deprem sonrası rahatlama evresi modelleme stratejilerinin GPS zaman serileri hata karakteri ve deterministik büyüklüklere etkisi
Effect of modelling strategies for post-seismic relaxation on error characteristics of GPS time series and deterministic parameters.....96-111

Hüseyin DUMAN

Research on 3D reconstruction of small size objects using structure from motion photogrammetry via smartphone images
Küçük boyutlu nesnelerin 3 boyutlu modellenmesi için akıllı telefon görüntüleri kullanılarak hareketten nesne oluşturma
fotogrametrisine dayalı bir araştırma 112-123

Duygu ARICAN, Ferat Furkan GÖKSU, Nursu TUNALIOĞLU, Taylan ÖCALAN

Türkiye’de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal ve mekânsal analizi
Spatiotemporal analysis of forest fires occurring in Türkiye between 2015 and 2022 with geographical information system..... 136-150

Yasin DEMİREL, Tarık TÜRK

Analysis and visualization of crime data using GIS technology: Understanding crime patterns and distribution
Suç olaylarının CBS ile analizi ve görselleştirilmesi: Suçun kalıplarını ve dağılımını anlamak..... 151-163

Gamze BEDİROĞLU, H. Ebru ÇOLAK

Jeodezik ağlarda kaba hatanın bilinmeyen olarak modellenmesi
Modeling outliers as unknown in geodetic networks..... 164-177

Utkan Mustafa DURDAĞ

Derleme / Review

Türkiye kadastrusunda güncelleme çalışmaları sırasında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri
Problems encountered during update studies in Turkish cadastre and solution suggestions 124-135

Alper ARSLAN, Cemal BIYIK

Deprem sonrası rahatlama evresi modelleme stratejilerinin GPS zaman serileri hata karakteri ve deterministik büyüklüklere etkisi

Hüseyin Duman^{1*} 

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye.

Öz: Deprem meydana gelmesi ile yeryüzünde ani yer değiştirmeler (kosismik yer değiştirme) ve akabinde deprem sonrası rahatlama evresi süreçleri yaşanır. Deprem sonrası rahatlama evresi, yer kabuğunun düşük viskoziteli katmanında ve üst mantoda biriken gerinin gevşemesi sürecidir. Zamana bağımlı doğrusal olmayan bu geçiş sürecinin yeryüzündeki etkileri Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System, GPS) ile izlenebilmekte ve GPS zaman serileri ile matematiksel olarak üstel fonksiyonlarla modellenmektedir. Modellenemeyen deprem sonrası rahatlama evresi matematiksel modelin diğer parametrelerini etkilemektedir. Bu çalışmada, deprem sonrası rahatlama evresi deprem öncesi ve sonrası ölçülerin hem bütünlük hem de ayrı ayrı değerlendirilmesinin GPS zaman serileri hata karakterine, hız ve kosismik yer değiştirmelere etkileri irdelenmiştir. Deprem sonrası rahatlama zamanı Nelder-Mead yakınsama algoritması ile optimize edilmiş, bu değerler ve ek deterministik büyüklükler ile GPS hata zaman serileri beyaz gürültü (BG) + kırışma gürültüsü (KG), BG+KG+rasgele yürüyüş gürültüsü (RYG) ve BG+güç-yasası gürültüsü (GYG) stokastik model kombinasyonları ile analiz edilmiştir. Bütünlük analiz edilen zaman serileri, RYG ya da spektral indeks değeri ortalama -1.25'lere yaklaşan GYG gürültü modelleri ile temsil edilebilmektedir. Aksine, ayrı ayrı analizlerden birleştirilen GPS hata zaman serilerinin tümü BG+KG modeli ile karakterize edilmektedir. Hem kalite ölçütleri hem de GPS hata zaman serilerinin görsel irdemeleri, ayrı ayrı analiz edilmelerinin doğru bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Buna göre bütünlük analiz, hız bileşeninde 0.52 mm/yıl'a kadar yanlış kestirime, hız standart sapmalarında %94'e kadar aşırı tahmin edilmesine ve kosismik yer değiştirmelerde 8 cm'ye kadar farklılıklara sebep olabilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Post-sismik rahatlama, Viskoelastik rahatlama, Gürültü analizi, GPS zaman serileri, Kosismik atım

Effect of modelling strategies for post-seismic relaxation on error characteristics of GPS time series and deterministic parameters

Abstract: With occurrence of an earthquake, an instant displacement on the Earth's surface (so-called co-seismic displacement) and subsequently a post-seismic relaxation could be experienced. The post-seismic relaxation is a process that is a stress relaxation in the crust's low viscosity layers and in the upper mantle. Effects of this time-dependent non-linear transient events on Earth's surface can be monitored by Global Positioning System (GPS) and can be modelled deterministically through an exponential function using GPS time series. The post-seismic relaxation, which is not (can not be) modelled, affects other parameters in the mathematical model. In this study, the post-seismic relaxation effects on GPS time series error characteristics, velocity, and co-seismic displacements were examined by analyzing pre- and post-earthquake observations series both jointly and separately. The post-seismic relaxation time were optimized by Nelder-Mead simplex algorithm, and GPS error time series were analyzed using these optimized relaxation times and additional deterministic parameters with stochastic model combinations of white noise (WN)+flicker noise (FN), WN+FN+random-walk noise (RWN), WN+power-law noise (PL). The time series jointly analyzed can be characterized by RWN or PL in which spectral index is about to -1.25. On the contrary, all the separately analyzed time series is characterized by the WN+FN model combination. Both quality measures and visual inspections of GPS error time series demonstrates that the separately analyzing is a correct approach. Accordingly, the joint analysis can result in biased velocity estimates up to 0.52 mm/year, overestimation of velocity uncertainties up to %94 and co-seismic displacements differences up to 8 cm.

Keywords: Post-seismic relaxation, Viscoelastic relaxation, Noise analysis, GPS time series, Co-seismic displacement

1. Giriş

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems, GNSS – buradan sonra Global Positioning System, GPS olarak ifade edilecektir) marifetiyle günlük koordinatlardan türetilmiş sürekli zaman serileri yeryüzü deformasyonlarının modellenmesi ve yorumlanmasında en sık başvurulan yöntemlerden biridir. GPS zaman serileri iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım, deterministik olarak modellenebilen sistematik değişimlerden, yani fonksiyonel modelden; ikinci kısım ise, gürültü olarak adlandırılan rasgele meydana gelen süreçler yani stokastik modelden oluşmaktadır (Santamaría-Gómez & Ray, 2021). GPS zaman serileri hata teriminin 1990'lı yılların sonlarından itibaren hem zaman hem de mekân korelasyonlu oldukları bilinmektedir (Langbein, 2008, 2017; Langbein & Johnson, 1997; Mao, Harrison, & Dixon, 1999; Wdowinski, Bock, Zhang, Fang, & Genrich, 1997; Zhang vd., 1997). Zaman serileri analizinin ana amacı, jeofiziksel gerçekliği temsil eden deterministik büyüklüklerin gerçekçi/yansız (unbiased) kestirilmesidir. Gürültü modelleri ile zaman serileri analizlerinin ana amacı ise yalnızca deterministik büyüklüklerin gerçekçi/yansız kestirilmesi değil, aynı zamanda standart sapmalarının da gerçekçi belirlenmesidir. Johnson ve Agnew (1995), stokastik süreçler dâhil edilmediği, yani ölçüler arası zaman-mekânsal korelasyonlar hesaba katılmadığı durumda parametre standart sapmalarını oldukça optimistik değerler ile kestirilebileceğini vurgulamıştır.

GPS zaman serileri fonksiyonel modelini oluşturan; hız, periyodik sinyaller, ani yer değiştirmeler ve deprem sonrası rahatlama evresi parametreleri zamana bağlıdır. Dolayısıyla, bu büyüklüklerin yanlış modellenmeleri ya da modellenmemeleri doğrudan stokastik süreçleri etkileyecektir. Örneğin Williams (2003a), zaman serilerindeki ani yer değiştirmelerin hesaba katılmaması durumunda hız standart sapmasını etkileyebileceği ve hatta stokastik olarak rasgele yürüyüş gürültüsünü (random walk noise, RYG) ortaya çıkarabileceğini vurgulamıştır. Chen, Zhao, Wei ve Liu (2018) deterministik olarak mevsimsel sinyaller, ani yer değiştirmelerin güç-yasası gürültü (power-law noise, GYG) büyüklüğü ve gürültünün rengini temsil eden spektral indeks üzerindeki etkilerini irdelemiştir. Var olan mevsimsel sinyallerin hesaba katılması ölçüler arası korelasyon seviyesini azaltmakta, spektral indeks değerini “0”a yakınlaştırmakta olduğunu vurgulamışlardır. Benzer şekilde, var olan ani yer değiştirmelerin hesaba katılmasının da stokastik süreçleri etkilediği ifade edilmiştir (Chen vd., 2018; Santamaría-Gómez & Ray, 2021).

Hackl, Malservisi, Hugentobler ve Jiang (2013), modellenmeyen geçici olayların (transient events) GPS zaman serileri gürültü karakterlerinin ortaya çıkartılmasını önemli ölçüde etkilediğini, hesaba katılmadıklarında stokastik süreçlerin bir parçası olarak kestirilebileceğini ifade etmiştir. Volkan aktiviteleri (Dzurisin, 2003), fay kırıkları (Hetland & Simons, 2010), deprem sonrası rahatlama evresi (Dogan vd., 2014; Hackl, Malservisi, & Wdowinski, 2009; Hammond, Kreemer, Blewitt, & Plag, 2010) gibi yavaş gelişen süreçler geçici olaylara örnek olarak verilebilir (Dong vd., 2006; Wdowinski vd., 1997). Dogan vd. (2014), 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası rahatlama evresini, odak merkezi civarındaki sürekli ve kampanya GPS istasyonları ile araştırmıştır. Deprem sonrası rahatlama evresi, ölçü zamanının logaritması ile modellenmiş, modelde rahatlama zamanına yer verilmemiştir. Vallianatos ve Sakkas (2021), literatürde genellikle tek bir rahatlama zamanının hesaba katıldığını (Ingleby & Wright, 2017; Marone, Scholtz, & Bilham, 1991; Perfettini & Avouac, 2004), ancak, deprem sonrası rahatlama evresinin birden fazla rahatlama zamanının birleşimi olduğunu vurgulamıştır. Yunanistan, Lefkas 2015 depreminde rahatlama zamanının ise 3.5 – 350 gün arasında değiştiğini ifade etmiştir. Gualandi vd. (2017), GPS ağının bazı noktalarında deprem öncesi ve deprem sonrası deformasyonları bütünlük analiz etmiştir.

Bu çalışmada, deprem sonrası rahatlama evresi iki farklı modelleme stratejisi ile ele alınmıştır: (I) Deprem öncesi ve sonrasında bir bütün olarak tek bir matematik model ile değerlendirilerek, (II) deprem öncesi ve sonrasında bağımsız matematik modeller ile değerlendirilip hata terimleri birleştirilerek, GPS zaman serilerindeki stokastik süreçler irdelenmiştir.

Her iki değerlendirme stratejisinde de deprem sonrası rahatlama zamanı, yakınsama algoritması ile kestirilmiştir. Hem hataların stokastik süreçleri nasıl etkilediği hem de deprem sonrası rahatlama zamanının optimizasyonu çalışmanın özgün değerini temsil etmektedir. Bu bağlamda ilk olarak, gürültü modelleri ile matematik modelin nasıl oluşturulduğuna değinilmiş (bkz. Bölüm 2), kurgulanan stratejiler doğrultusunda analizlerin gerçekleştirilmesi ve bulgular paylaşılmış (bkz. Bölüm 3) ve son bölümde ana sonuçların çerçevesi çizilmiş, önerilerde bulunulmuştur.

2. GPS Zaman Serileri Matematik Modeli

2.1 Fonksiyonel Model

Tektonik kuvvetler, yerüstü ve yeraltındaki hidrolojik değişimler, yerkabuğunda elastik ya da elastik olmayan deformasyonlara sebep olmaktadır. Yüksek duyarlıklı konum üretebilme kabiliyeti, GPS teknolojisini, ifade edilen deformasyonların modellenip anlaşılması için vazgeçilmez bir araç haline getirmektedir. Bir GPS istasyonundaki yeryüzü deformasyonlarının matematiksel olarak modellenenbilmesi için en uygun fonksiyonun belirlenmesi gerekmektedir. Örnek olarak, t_i zamanında ölçülmüş y_i ölçüleri için ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) mevsimsel değişimler, gerek yapay (örneğin, anten değişimi) gerekse doğal (örneğin, depremlerden kaynaklı yer değiştirmeler) sebeplerden meydana gelen ani yer değiştirmeler ve deprem sonrası rahatlama evresinin hesaba katıldığı fonksiyon,

$$y_i - e_i = y_0 + rt_i + \sum_{j=1}^q \left(AC_j \cos \frac{2\pi t_i}{T_j} + AS_j \sin \frac{2\pi t_i}{T_j} \right) + \sum_{k=1}^p g_k H(t_i - t_k^{\text{off}}) + \sum_{m=1}^s d_m \left(1 - \exp \frac{t_i - t_m^{\text{rlx}}}{\tau_m} \right) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, e_i , i 'nci ölçünün hata terimini; y_0 , başlangıç ölçü değerini; r ise hız (deformasyon oranı ya da trend) bileşenini temsil etmektedir. j 'nci periyodik etki ($j = 1, 2, \dots, q$), faz kayıklığından bağımsız, doğrusallaştırılmış AC_j ve AS_j genlikleri, T_j salınım periyodu ile temsil edilmektedir (Bogusz & Klos, 2016). t_k^{off} zamanında meydana gelen g_k ($k = 1, 2, \dots, p$) büyüklüğündeki ani yer değiştirmeler $H(\cdot)$ Heaviside fonksiyonu yardımıyla modellenmektedir. Bu fonksiyon,

$$H(t_i - t_k^{\text{off}}) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } t_i \leq t_k^{\text{off}} \\ 1 & \text{eğer } t_i > t_k^{\text{off}} \end{cases} \quad (2)$$

ile temsil edilmektedir. t_m^{rlx} zamanında meydana gelen bir depremin rahatlama evresi ise, d_m bu evrenin büyüklüğü ve τ_m zamanının eksponansiyel fonksiyonu ile Eşitlik 1'de verildiği şekliyle temsil edilmektedir. Eşitlik 1'in matris formunda gösterimi,

$$\mathbf{y} - \mathbf{e} = \mathbf{A}\boldsymbol{\beta} \quad (3)$$

şeklinindedir. Burada $n \times 1$ boyutlu $\mathbf{y} = [y_1 \ \dots \ y_n]^T$ ölçüler vektörü; $n \times 1$ boyutlu $\mathbf{e} = [e_1 \ \dots \ e_n]^T$ hatalar vektörü ve Eşitlik 1 için $u \times 1$ boyutlu $\boldsymbol{\beta} = [y_0 \ r \ AC_1 \ AS_1 \ \dots \ AC_q \ AS_q \ g_1 \ \dots \ g_p \ d_1 \ \dots \ d_r]^T$ bilinmeyenler vektörü ile $u = 2 + 2q + p + r$ bilinmeyen sayısıdır. Eşitlik 1'in doğrusallaştırılması ile elde edilen $n \times u$ katsayılar matrisi ise,

$$\mathbf{a}_{lin} = [1 \ t_i]_{1 \times 2} \quad (4a)$$

$$\mathbf{a}_{sea} = \left[\cos \frac{2\pi t_i}{T_1} \ \sin \frac{2\pi t_i}{T_1} \ \dots \ \cos \frac{2\pi t_i}{T_q} \ \sin \frac{2\pi t_i}{T_q} \right]_{1 \times 2q} \quad (4b)$$

$$\mathbf{a}_{off} = [H(t_i - t_1^{\text{off}}) \ \dots \ H(t_i - t_p^{\text{off}})]_{1 \times p} \quad (4c)$$

$$\mathbf{a}_{exp} = \left[1 - \exp\left(\frac{t_i - t_1^{rlx}}{\tau_1}\right) \quad \dots \quad 1 - \exp\left(\frac{t_i - t_r^{rlx}}{\tau_r}\right) \right]_{1 \times r} \quad (4d)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{a}_{lin} & \mathbf{a}_{sea} & \mathbf{a}_{off} & \mathbf{a}_{exp} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}_{n \times u} \quad (4e)$$

şeklinde elde edilir.

2.2 Stokastik Model

Deformasyonların en doğru şekilde modellenip yorumlanmaları için, ölçüleri temsil eden deterministik (bkz. Eşitlik 1 ve 4) büyüklüklerin eksiksiz hesaba katılmasının yanı sıra, (ko)varyanslarının da gerçekçi bir şekilde analizlere dâhil edilmesi gerekmektedir (Santamaría-Gómez, Bouin, Collilieux, & Wöppelmann, 2011). Gerçekçi (ko)varyanslar, ölçüler ya da deterministik büyüklüklerden arındırılmış hataları temsil eden stokastik süreçlerin hesaba katılması ile mümkündür. GPS zaman serilerini temsil eden stokastik süreçler en iyi güç-yasası (power-law) süreçleri ile temsil edilmekte (Agnew, 1992) ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir:

$$P_y(f) = P_0 \left(\frac{f}{f_0}\right)^\kappa \quad (5)$$

Burada; f frekansı, P_0 ve f_0 normalleştirme katsayılarını, κ ise spektral indeksi temsil etmektedir (Mandelbrot & van Ness, 1968). Spektral indeks değeri, durağan süreçler için $-1 \leq \kappa < 1$, durağan olmayan süreçler için ise $-3 < \kappa < -1$ olmak üzere $-3 < \kappa < 1$ aralığında değişmektedir. Bu değer, zaman serisinin frekans uzayındaki -spektrumundaki- eğimi temsil etmekte, bir başka ifade ile stokastik sürecin rengini de ifade etmektedir. Bu sebeptendir ki, renkli gürültü kavramı stokastik süreçleri temsilen kullanılmaktadır. Spektral indeks değerinin tamsayıya eşit olduğu renkler ile de isimlendirilen özel durumlar/stokastik süreçler vardır. Bunlar, $\kappa = 0$ olduğu beyaz gürültü (white noise, BG), $\kappa = -1$ olduğu kırpışma gürültüsü (flicker noise, KG; pink noise) ve $\kappa = -2$ olduğu rasgele yürüyüş gürültüsüdür (random-walk noise, RYG; brown noise). Gürültü renginin beyaza yaklaşması ya da spektrum eğiminin yataylaşması ölçüler arası korelasyon seviyesinin azaldığını ifade etmektedir (Amiri-Simkooei, Tiberius, & Teunissen, 2007).

Renkli gürültü model kombinasyonları ile temsil edilen bir GPS zaman serisinin (ko)varyans matrisi,

$$\mathbf{Q}_y = \sum_{k=1}^p \sigma_k^2 \mathbf{Q}_k \quad (6)$$

ile ifade edilir (Amiri-Simkooei vd., 2007; Aydın, Duman, Günes, & Sanli, 2021). Burada, p stokastik modeli oluşturan varyans bileşenleri sayısını, σ_k^2 gürültü büyüklüklerini, \mathbf{Q}_k ise $n \times n$ boyutlu ($k = \text{BG, KG, RYG}$ ya da güç-yasası gürültüsü (GYG)) gürültü modelinin kofaktör matrisini temsil etmektedir. Bu matris Hosking (1981) tarafından tanımlanan

$$\mathbf{T}_k = \Delta T^{-0.25\kappa} \begin{bmatrix} h_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ h_1 & h_0 & 0 & \dots & 0 \\ h_2 & h_1 & h_0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n-1} & h_{n-2} & h_{n-3} & \dots & h_0 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (7)$$

dönüşüm matrisi kullanılarak $\mathbf{Q}_k = \mathbf{T}_k \mathbf{T}_k^T$ eşitliği ile ve \mathbf{T}_k dönüşüm matris elemanları, $h_0 = 1$ ve $h_i = \left(i - 1 + \frac{\kappa}{2}\right) \frac{h_{i-1}}{i}$ şeklinde hesaplanmaktadır (Kasdin, 1995). Eşitlik 7’de ΔT örneklem aralığını temsil etmektedir. \mathbf{Q}_k oluşturulmadan önce \mathbf{T}_k dönüşüm matrisinin $\Delta T^{-0.25\kappa}$ ile ölçeklenmesi, aynı ΔT ve gürültü büyüklüğü durumlarında, stokastik süreçlerin spektrumda

benzer frekanslarda örtüşmesini sağlamaktadır (Williams, 2003b).

Bu çalışma kapsamında zaman serileri analizleri (bkz. Bölüm 3.2) Hector v1.9 yazılımı (Bos, Fernandes, Williams, & Bastos, 2013) ile gerçekleştirilmiştir. Hector v1.9 yazılımı Eşitlik 3'te ifade edilen β fonksiyonel model bilinmeyenleri ve ilk aşamada bilinmeyen Eşitlik 6'daki varyans bileşenlerini (gürültü büyüklüklerini) en büyük olabilirlik kestirimi (maximum likelihood estimation, MLE) yöntemiyle eş zamanlı olarak kestirmektedir. Hector v1.9 yazılımı ile zaman serileri, veri boşluklarının da hesaba katıldığı hızlı çözüm yapabilen özel bir matris algoritması ile analiz edilmektedir. Çalışma kapsamında ifade edilen algoritmanın etkisi irdelenmemiş ve dolayısıyla burada detaylandırılmamıştır. Algoritmanın detayları için Bos vd. (2013) çalışmasına başvurulmalıdır.

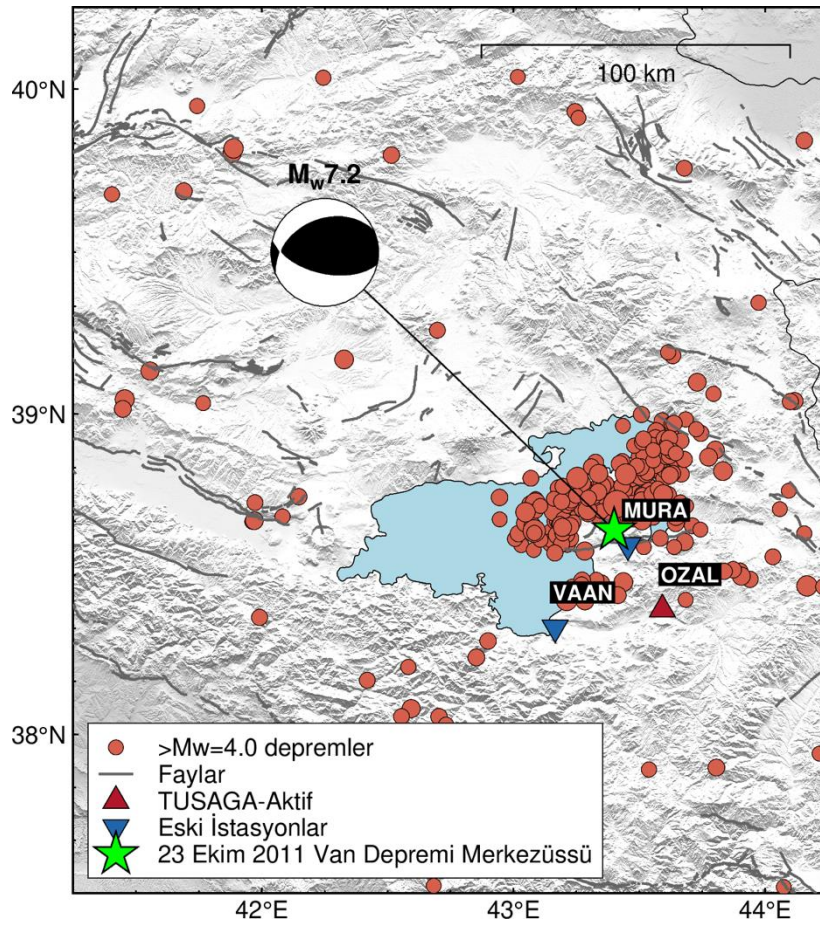
3. Analizler ve Bulgular

Bir fay düzleminde biriken enerjinin aniden boşalması ile meydana gelen deprem neticesinde hem deprem anında hem de deprem sonrasında yeryüzünde deformasyonlar meydana gelmektedir. Deprem anında ortaya çıkan ani yer değiştirme kosismik etki olarak isimlendirilmektedir. Kırılgan kıta kabuğunda enerji aniden boşalsa da litosfer (katı yer kabuğu) ile astenosfer (üst manto) kesişimindeki viskoelastik katmanda deprem kaynaklı stresin durağanlaşması zaman alan bir süreçtir. Viskoelastik deformasyon olarak isimlendirilen bu deprem sonrası rahatlama süreci üstel fonksiyon yardımıyla modellenmektedir (bkz. Eşitlik 1). Uygun şekilde modellen(e)meyen deterministik büyüklükler stokastik süreçler üzerinde etkili olmakta, dolayısıyla parametre standart hatalarında yanılırlara sebep olabilmektedir.

Viskoelastik deformasyonun GPS zaman serileri hata karakterine nasıl bir etkide bulunacağını irdelemek adına 23 Ekim 2011, 13:41 TSİ (Türkiye Saati ile) tarihinde $M_w=7.2$ moment büyüklüğündeki Van Depremi örnek uygulama olarak seçilmiştir. Bu depremin akabinde 9 Kasım 2011, 21:23 TSİ tarihinde $M_w=5.6$ moment büyüklüğünde yıkıcı bir deprem daha meydana gelmiştir. 23 Ekim ve 9 Kasım 2011 depremlerinin GPS zaman serileri üzerindeki etkileri Tiryakioğlu vd. (2017) tarafından irdelenmiş, $M_w=5.6$ büyüklüğündeki 9 Kasım depremi için önemli yer değiştirmelerin olmadığı rapor edilmiştir. Dolayısıyla, 9 Kasım 2011 depremine analizlerde yer verilmemiştir.

3.1 Veri Seti

23 Ekim 2011 Van Depremi'nden kaynaklı viskoelastik rahatlama evresinin GPS zaman serilerinde belirgin olarak görülebilmesi adına deprem odak merkezine yakın VAAN, MURA ve OZAL istasyonları değerlendirmeye alınmıştır (Şekil 1). İstasyonlara ait zaman serileri Harita Genel Müdürlüğü'nden edinilmiştir (URL-1). Özdemir (2016), TUSAGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının günlük koordinatlarının nasıl üretildiği üzerine değerlendirmeler yapmıştır. Harita Genel Müdürlüğü'nce VAAN ve MURA istasyonları "Eski İstasyonlar", OZAL istasyonu ise "TUSAGA-Aktif" olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan VAAN, MURA ve OZAL GPS istasyon konumları. 23 Ekim 2011 Van Depremi merkez üssü yeşil yıldız ve Kandilli Rasathanesi kayıtlarına göre depremden sonra 2021 yılı sonuna kadar meydana gelen $M_w=4.0$ 'dan büyük depremler büyüklüğüne göre ölçeklendirilmiş kırmızı daireler ile gösterilmiştir. Gri çizgiler ile gösterilen faylar için Maden Teknik Arama (MTA) diri fay haritası kullanılmıştır (Emre vd. 2018).

Her üç GPS istasyonu zaman serisi verileri 27 Eylül 2008 tarihinde başlamakta, VAAN istasyonunda 07 Kasım 2012 (MJD: 56238), MURA istasyonunda 28 Ocak 2014 (MJD: 56685) ve OZAL istasyonunda 14 Aralık 2021 (MJD: 59562) tarihlerine kadar devam etmektedir. Bu tarihlere göre deprem öncesi döneme ait 3.07 yıllık zaman serileri, deprem sonrasında ise VAAN istasyonunda 1.04 yıl, MURA istasyonunda 2.27 yıl ve OZAL istasyonunda 10.14 yıllık zaman serisi bulunmaktadır. VAAN, MURA ve OZAL GPS istasyonları zaman serilerinde sırasıyla %33.27, %12.97 ve %8.91 veri boşluğu mevcuttur.

3.2 Zaman Serileri Analizleri

Viskoelastik rahatlama evresinin stokastik süreçler üzerine olan etkisi iki farklı senaryoda incelenmiştir. (I) Her üç sabit GPS istasyonu Doğu (D), Kuzey (K) ve Yükselik (Y) bileşenleri ayrı ayrı deprem öncesi ve sonrası ayırt etmeksizin (zaman serileri bütün olarak) tek bir matematik model ile ele alınmıştır. 23 Ekim 2011 (MJD: 55857) günü için kosismik etki Heavyside fonksiyonu ile (bkz. Eşitlik 1 ve 2), deprem sonrası viskoelastik rahatlama evresi ise üssel fonksiyon yardımıyla hesaba katılmıştır. (II) Deprem öncesi ve sonrası olmak üzere zaman serileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Senaryo (I)'den kestirilen hatalar vektörü, senaryo (II)'de iki farklı seriden kestirilen hatalar vektörlerinin birleştirilmesiyle elde edilen vektör,

$$e_I = [y_F - A_F \beta_F]_{n \times n} \quad (8a)$$

$$e_{II} = \begin{bmatrix} y_{BE} - A_{BE} \beta_{BE} \\ y_{AE} - A_{AE} \beta_{AE} \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (8b)$$

şeklinde ele alınmıştır. Burada, alt indis “F” senaryo (I) için zaman serisinin tümü; “BE” ve “AE” ise senaryo (II) için sırasıyla deprem öncesi ve deprem sonrasını ifade etmektedir.

Bu senaryoda bir bileşen iki farklı zaman serisi şeklinde ele alındığı için kosismik etki hesaba katılmamış fakat, deprem sonrası zaman serisi için ilk senaryoda olduğu gibi viskoelastik rahatlatma evresi benzer şekilde üssel fonksiyon ile ele alınmıştır. Deprem ile ilgili deterministik büyüklüklerin haricinde Eşitlik 1’de gösterildiği şekilde yıllık ($T_1 = 365.25$ gün = 1 yıl) ve yarıyıllık ($T_2 = 183.625$ gün = 0.5 yıl, $q = 2$ için) periyodik sinyaller hesaba dâhil edilmiştir.

3.2.1 Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması

İlk olarak, VAAN, MURA ve OZAL istasyonları tüm bileşenlerinde yukarıda ifade edilen senaryo ve deterministik büyüklükler kullanılarak uyumsuz ölçüler çeyrekler açıklığı yöntemine göre ayrı ayrı ayıklanmıştır. Viskoelastik rahatlatma evresi ile ilişkili hem senaryo (I) hem de senaryo (II) deprem sonrası zaman serisi için Eşitlik 1’de $\tau_1 = 100$ gün ($m = 1$ için) olarak hesaba dâhil edilmiştir. Bölüm 3.1’de ifade edilen veri boşluğu yüzdeleri uyumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra kalan ölçüler üzerinden hesaplanmıştır.

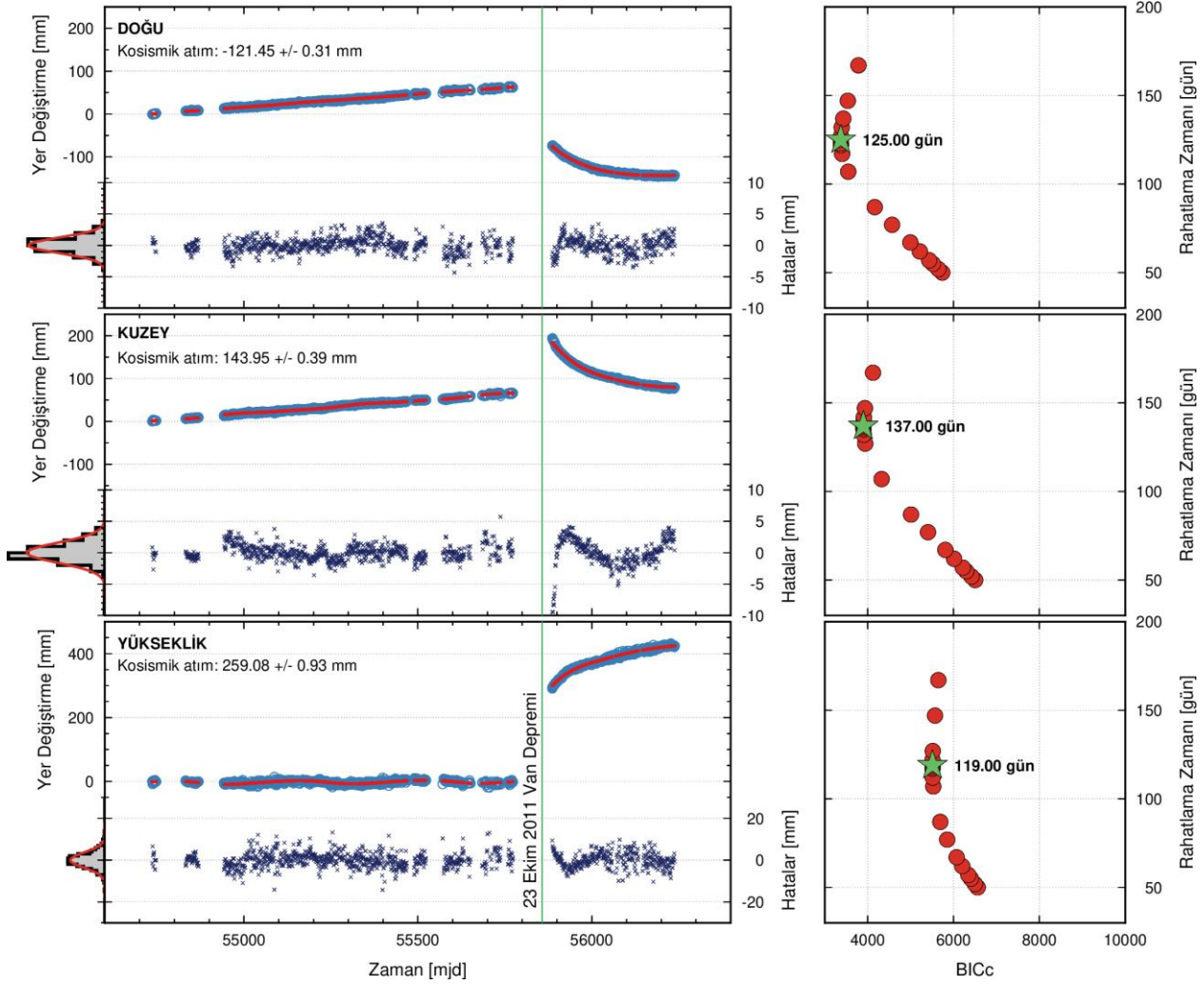
3.2.2 τ Viskoelastik Rahatlatma Zamanının Optimizasyonu

Bir deprem meydana geldiğinde, Eşitlik 1’de deprem ile ilgili olan üssel fonksiyonda yalnızca t_m^{rlx} zamanı bilinmektedir. Parametre kestirim işleminde ise d_m viskoelastik rahatlatma evresinin büyüklüğü kestirilmektedir. Dolayısıyla, τ_m viskoelastik rahatlatma evresinin zamanı ilk aşamada ne tam olarak bilinmekte ne de analizlerde kestirilmektedir. Bu çalışmada, 23 Ekim 2011 Van Depremi için τ_1 ($m = 1$) değeri Hector v1.9 yazılımının model seçimi için hesaplanan BIC_c (corrected Bayesian Information Criteria) kalite ölçütü kullanılmıştır. He, Bos, Montillet ve Fernandes (2019) uzun GPS zaman serilerinin düşük frekanslardaki gürültü özelliklerini incelediği çalışmasında BIC_{cp} değerinin model seçiminde etkili olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmanın gerçekleştirildiği tarihte ve çalışmada kullanılan Hector yazılımının versiyonu BIC_c kalite ölçütü değerini hesaplamamaktadır. Yazılımın en güncel versiyonunda, olası ani yer değiştirmelerin (ofsetlerin) belirlenmesinde BIC_c değerine başvurulmuştur (Bos & Fernandes, 2021). Ayrıca, bu çalışma kapsamı dışında yapılmış simülasyon çalışmalarında da BIC_c değerinin uygun model seçiminde etkili olduğu tecrübe edilmiştir. Dolayısıyla BIC_c değeri, 23 Ekim 2011 Van Depremi viskoelastik rahatlatma zamanının belirlenmesi için model seçim kriteri olarak benimsenmiştir.

τ_1 viskoelastik rahatlatma zamanının optimizasyonu için Nelder-Mead Simplex algoritması kullanılmıştır (Press, 2007). Başlangıç değeri $\tau_1 = 50$ gün olarak seçilmiştir. Deterministik olarak, senaryo (I) için başlangıç koordinat değeri (intercept), deformasyon oranı (hız), yıllık ve yarıyıllık periyodik sinyaller, deprem anı kosismik yer değiştirme ve deprem sonrası rahatlatma evresi için üssel fonksiyon; senaryo (II) deprem sonrası zaman serisi için ise deprem anı kosismik hariç benzer parametreler kestirim için tanımlanmıştır. Stokastik olarak, bu aşamada yalnızca BG varsayımı dikkate alınmıştır. Bu model varsayımları ile viskoelastik rahatlatma evresinin gözle dâhi görülebildiği VAAN istasyonu için optimizasyonu gerçekleştirilmiş, senaryo (II) deprem sonrası zaman serisinde τ_1 değerinin anlamsız büyük değerlere ulaştığı görülmüştür. VAAN istasyonu deprem sonrasında yalnızca 1.04 yıllık zaman serisi mevcuttur. Bu durumun önüne geçebilmek adına tüm değerlendirmelerde $\tau_1 \in [0, 300]$ gün aralığına koşul uygulanmıştır.

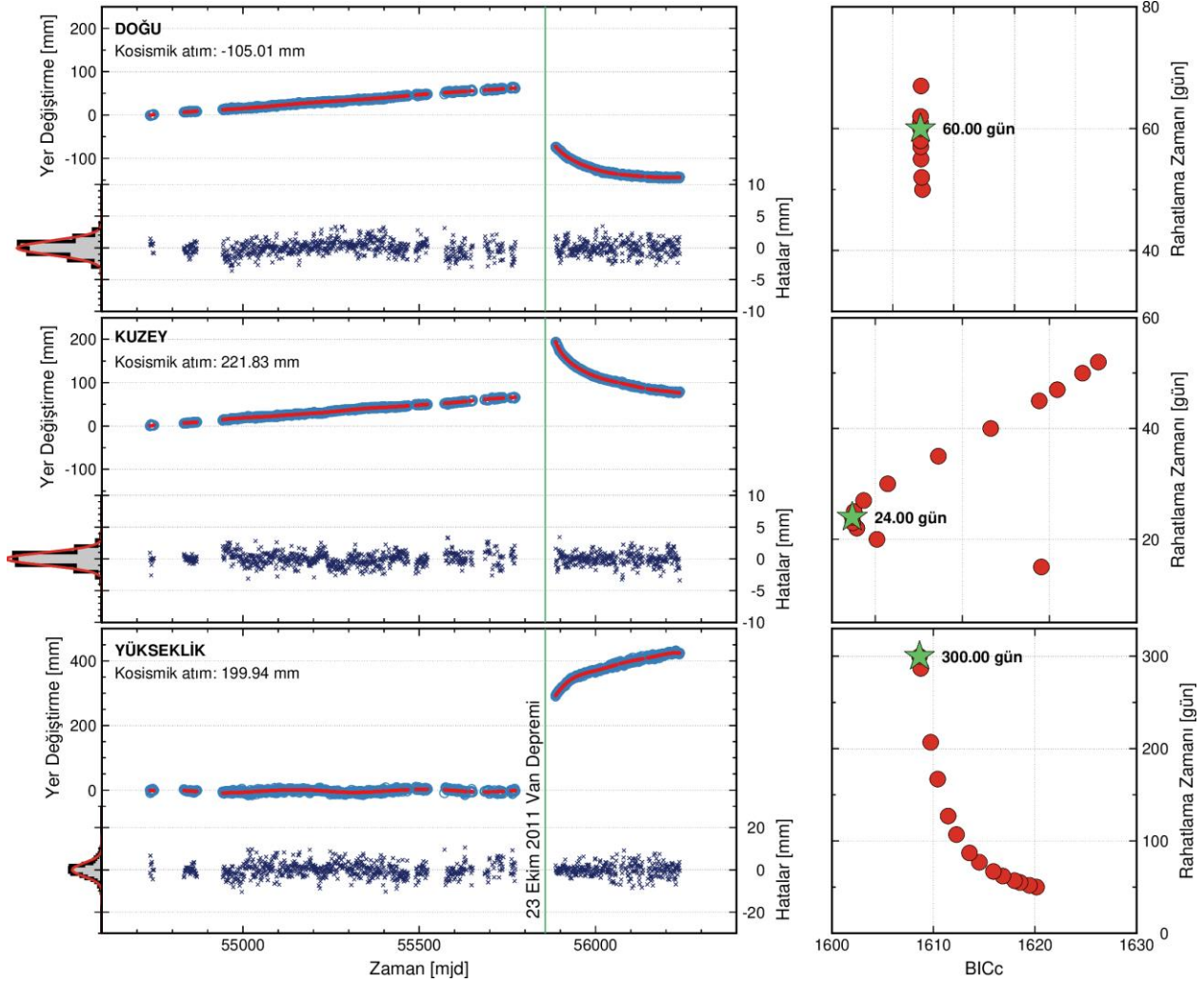
Şekil 2 incelendiğinde, VAAN istasyonu doğu bileşeni için 125 gün, kuzey bileşeni için 137 gün, yükseklik bileşeni için ise 119 günlük bir viskoelastik rahatlatma zamanı optimize edilmiştir. Ancak her üç bileşende zaman serileri incelendiğinde, ölçü ve model değerleri birbirleri ile uyumlu görünse de deprem sonrası hata değerlerine bakıldığında düzgün dağılım göstermediği açıkça görülmektedir. Şekil 2’deki hata değerleri senaryo (I) yani Eşitlik 8’de ifade edilen e_1 değerini temsil

etmektedir ki stokastik süreçlerin irdelenmesi bu hata vektörü üzerinden yapılacaktır.



Şekil 2: VAAN istasyonu için senaryo (I) τ_1 değeri optimizasyon sonuçları. Kırmızı daireler Nelder-Mead Simplex algoritması yakınsama sürecindeki BIC_c değerine karşılık rahatlama zamanlarını, yeşil yıldız ise en küçük BIC_c değerine göre yakınsatılmış τ_1 değerlerini göstermektedir. Doğu, kuzey ve yükseklik bileşenleri için zaman serisi (mavi daireler) kestirilen model (kırmızı çizgi) ve hata değerleri (koyu mavi x'ler) histogramları ile gösterilmiştir. Düşey yeşil düz çizgi deprem zamanını ifade etmektedir.

Senaryo (II)'de deprem öncesi zaman serisi, başlangıç koordinat değeri, hız, yıllık ve yarı yıllık sinyaller hesaba katılarak yalnızca BG varsayımı ile değerlendirilmiştir. Deprem sonrası ise kullanılan büyüklükler yukarıda ifade edilmiştir. Şekil 3, senaryo (II) deprem sonrası için τ_1 optimizasyon sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 3: VAAN istasyonu için senaryo (II) τ_1 değeri optimizasyon sonuçları. Simgeler Şekil 2'de açıklandığı gibidir.

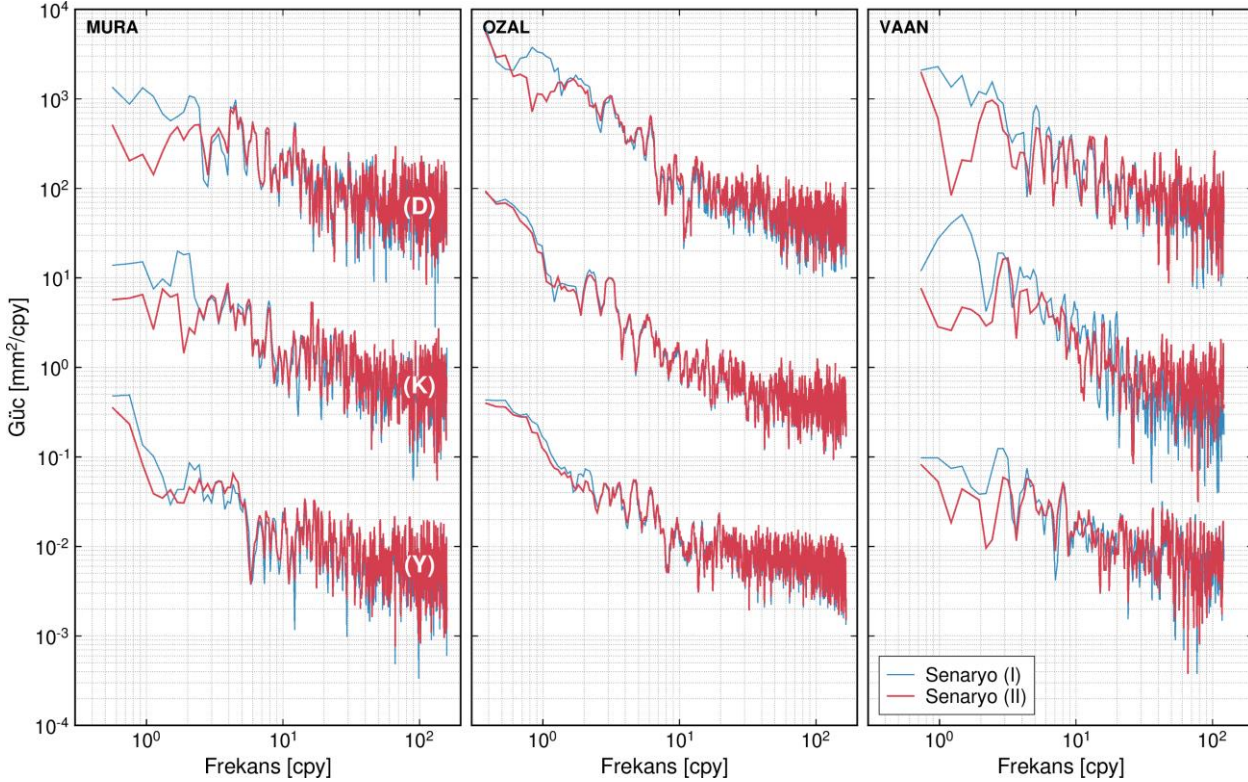
Şekil 3 dikkatle incelendiğinde, deprem sonrası dönem Şekil 2'ye göre oldukça düzgün dağılımlı görünmektedir ki bu da deprem sonrası rahatlama evresinin daha iyi modellendiğinin göstergesidir. Senaryo (II) için VAAN istasyonu doğu bileşeni viskoelastik rahatlama zamanı 60 gün, kuzey için 24 gün, yükseklik içinse 300 gün olarak optimize edilmiştir. Deprem öncesi dönem hataları ve deprem sonrası hataların birleşimi, e_{II} (bkz. Eşitlik 8) hatalar vektörünü temsil etmektedir ve stokastik süreçlerin irdelenmesi bu hata vektörü üzerinden yapılacaktır.

Yukarıda VAAN istasyonu için açıklanan viskoelastik zamanın optimizasyonu işlemi MURA ve OZAL istasyonları için de gerçekleştirilmiştir. MURA istasyonunda, deprem sonrası rahatlama evresi gözle görülecek düzeyde değildir. Senaryo (I) sonuçlarına göre, doğu ve kuzey bileşenlerinde 300 gün üst sınırında, yükseklik bileşeninde ise 6 gün olarak optimize edilmiştir. Yükseklik bileşenindeki 6 günlük rahatlama zamanı gerçek dışı kosmik yer değiştirme ve standart sapmaların kestirilmesine sebep olmuştur. Senaryo (II) sonuçlarına bakıldığında ise, optimize edilen rahatlama zamanları doğu, kuzey ve yükseklik bileşenleri için sırasıyla 86, 132 ve 57 gündür. OZAL istasyonunda ise bu değerler senaryo (I) için sırasıyla 300, 300 ve 141 gün iken senaryo (II) için 300, 300 ve 119 gün olarak optimize edilmiştir.

3.2.3 e_I ve e_{II} Hatalar Vektörlerinin Stokastik Karakterleri

Bu bölümde deterministik büyüklüklerden ayıklanmış, senaryo (I) ve (II)'den elde edilen hata vektörlerinin stokastik karakterleri irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır. İlk aşamada, her istasyonun tüm bileşenlerindeki e_I ve e_{II} hata vektörleri Lomb-Scargle algoritması kullanarak güç spektrumları irdelenmiştir. Lomb-Scargle algoritması Lomb (1976) tarafından

geliştirilmiş, Scargle (1982) tarafından kapsamı genişletilen boşluklu zaman serileri güç spektrumlarının hesabında sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Şekil 4'te MURA, OZAL ve VAAN istasyonlarını doğu, kuzey ve yükseklik bileşenlerindeki senaryo (I) ve (II) için güç spektrumları gösterilmektedir. e_I ve e_{II} hata vektörleri, başlangıç değer, hız, yıllık/yarıyıllık mevsimsel sinyaller ve deprem sonrası viskoelastik rahatlama evresi deterministik büyüklükleri hesaba katılarak yalnızca BG stokastik model varsayımına göre elde edildikleri için güç spektrumları da yalnızca ilgili zaman serilerinin stokastik karakterlerini gösterecektir. Bir başka deyişle, iki farklı durumda ele alınan deprem sonrası viskoelastik rahatlama evresinin stokastik süreçlere olan etkisini de gösterecektir.



Şekil 4: Senaryo (I) ve (II) için tüm istasyonların Doğu (D), Kuzey (K) ve Yükseklik (Y) bileşenlerindeki güç spektrumları. Görsel kolaylık açısından koordinat bileşenleri birbirlerine göre ötelenerek çizilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde, MURA istasyonu doğu ve kuzey bileşenlerinde senaryo (I) durumu senaryo (II) ile karşılaştırıldığında düşük frekanslarda daha güçlü sinyale sahiptir, yani ölçüler düşük frekanslarda daha korelasyonludur. Yükseklik bileşeninde bu durum yataydaki kadar güçlü olmasa da senaryo (I)'den elde edilen hata vektörleri de benzer şekilde düşük frekanslarda daha korelasyonludur. Yüksek frekanslara doğru spektrumun eğimi yataylaşmakta, bu da uygun renkli gürültü modeline BG gürültü modelinin eşlik edeceğini göstermektedir. OZAL istasyonu için senaryolar üç bileşen için karşılaştırıldığında ise neredeyse benzer özellik göstermektedir. Yalnızca, doğu bileşeninde yıllık sinyal civarında kısmen daha güçlü sinyal görünmektedir. OZAL istasyonu güç spektrumlarının diğer istasyonunkilere nazaran bu denli benzerlik göstermesinin en önemli sebebi zaman serisi uzunluğudur. Önceki bölümlerde ifade edildiği üzere deprem sonrasında 10 yıldan daha uzun bir zaman serisine sahiptir. Deprem sonrası viskoelastik rahatlama evresinin gözle dahi rahatlıkla görülebildiği VAAN istasyonunda, doğu bileşeni için düşük frekanslarda senaryo (I) durumunun daha güçlü sinyal gösterdiği açıktır. Yüksek frekanslara doğru ise MURA ve OZAL istasyonlarında olduğu gibi benzer karakter göstermektedir. Kuzey bileşeninde, yine düşük frekanslarda senaryo (I) durumu daha güçlü sinyal özelliği göstermektedir. Orta frekanslarda benzer eğim gösterse de yüksek frekanslarda yataylaşan spektrumda senaryo (II) için BG modeli daha baskın sinyal ile ortaya çıkmaktadır. Yükseklik bileşeninde ise, doğu bileşeninde ve MURA istasyonu yükseklik bileşenindeki ile benzer özellikleri sergilemektedir. Şekil 2

ve 3'te hata serilerinin deprem sonrası kısımlarındaki farklılık, özellikle yüksek frekanslardaki güç değişiminin sebebinin açıkça göstermektedir.

Hangi renkli gürültü modeli kombinasyonlarının zaman serilerini temsil edeceğini, değerlendirme senaryoları uygun gürültü modelini değiştirip değiştirmeyeceğini irdelemek adına, her bir hata vektörü BG+KG, BG+KG+RYG ve BG+GYG model kombinasyonları ile analiz edilmişlerdir. Model uygunluğu tıpkı deprem sonrası rahatlama zamanı optimizasyonunda olduğu gibi BIC_c değerlerine göre yapılmıştır. Stokastik modelin dâhil edildiği analizlerde, deterministik olarak başlangıç değeri ve hız bileşeni hesaba katılmıştır. e_I ve e_{II} hata vektörleri hız bileşeninden bağımsız oldukları için beklenen değerinin "0 mm/yıl" olması gerekmektedir. Tablo 1, VAAN istasyonu için kestirim sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 1: VAAN istasyonu senaryo (I) ve (II) için her üç bileşende BG+KG, BG+KG+RYG ve BG+GYG stokastik modelleri ile kestirim sonuçları. İtalik-
altı çizili değerler senaryo (I) ve (II) için BIC_c değerine göre en uygun olan stokastik süreci, kırmızı ile belirtilenler ise senaryolardan bağımsız en
uygun olan stokastik süreci göstermektedir. Birimler, BG: mm; KG, RYG ve GYG: mm.yıl^{-k/4}; Hız: mm/yıl'dır.

DOĞU							
	BG	KG	RYG	GYG	κ	Hız	BIC_c
Toplam Zaman Serisi (Senaryo-I)							
BG+KG	<i>0.74</i>	<i>2.81</i>	-	-	<i>-1.00</i>	<i>0.065 +/- 0.256</i>	<i>2957.51</i>
BG+KG+RYG	0.74	2.81	0.00	-	-2.00	0.065 +/- 0.256	2964.42
BG+GYG	0.72	-	-	2.77	-0.96	0.063 +/- 0.246	2964.74
Deprem Öncesi + Deprem Sonrası (Senaryo-II)							
BG+KG	<i>0.81</i>	<i>2.32</i>	-	-	<i>-1.00</i>	<i>-0.001 +/- 0.213</i>	<i>2919.88</i>
BG+KG+RYG	0.81	2.32	0.00	-	-2.00	-0.001 +/- 0.213	2926.79
BG+GYG	0.61	---	-	2.17	-0.69	0.010 +/- 0.130	2925.20
KUZEY							
Toplam Zaman Serisi (Senaryo-I)							
	0.37	4.00	-	-	-1.00	0.096 +/- 0.361	2918.75
	<i>0.79</i>	<i>0.00</i>	<i>6.36</i>	-	<i>-2.00</i>	<i>0.480 +/- 3.135</i>	<i>2864.79</i>
	0.75	-	-	5.20	-1.70	0.371 +/- 1.877	2870.56
Deprem Öncesi + Deprem Sonrası (Senaryo-II)							
	<i>0.69</i>	<i>2.21</i>	-	-	<i>-1.00</i>	<i>-0.039 +/- 0.202</i>	<i>2666.77</i>
	0.69	2.21	0.00	-	-2.00	-0.039 +/- 0.202	2673.68
	0.65	-	-	2.14	-0.91	-0.036 +/- 0.177	2674.28
YÜKSEKLİK							
Toplam Zaman Serisi (Senaryo-I)							
	<i>2.63</i>	<i>7.75</i>	-	-	<i>-1.00</i>	<i>-0.015 +/- 0.708</i>	<i>5284.74</i>
	2.63	7.75	0.00	-	-2.00	-0.015 +/- 0.708	5291.65
	2.05	-	-	7.25	-0.72	0.027 +/- 0.454	5291.39
Deprem Öncesi + Deprem Sonrası (Senaryo-II)							
	<i>2.58</i>	<i>5.92</i>	-	-	<i>-1.00</i>	<i>0.054 +/- 0.545</i>	<i>5045.56</i>
	2.58	5.92	0.00	-	-2.00	0.054 +/- 0.545	5052.46
	1.76	-	-	5.52	-0.56	0.056 +/- 0.282	5050.60

Tablo 1 uygun stokastik model açısından irdelendiğinde, senaryo (I) için kuzey bileşen hariç BG+KG gürültü modeli ile temsil edilmektedir. Bu senaryoda kuzey bileşeni BG+KG+RYG modeli ile temsil edilmiştir. Kestirilen gürültü büyüklüklerine bakıldığında KG için "0 mm.yr^{-0.25}" kestirilmiştir. Dolayısıyla, BG+RYG modelinin uygun olduğu da söylenebilir. Senaryo (II) için uygun stokastik modeller irdelendiğinde ise, her üç bileşen BG+KG modeli ile temsil edilmektedir. Senaryo (I) ve (II) karşılıklı olarak irdelendiğinde, yani senaryo (I) mi yoksa senaryo (II) mi daha uygun sorusunun cevabına bakıldığında, yine tüm bileşenlerde BG+KG modelinin geçerli olduğu açıkça görülmektedir. GPS zaman

serileri için BG+KG modelinin en uygun stokastik süreç olduğu birçok araştırmacı tarafından da vurgulanmıştır (Calais, 1999; He vd., 2016; Mao vd., 1999; Santamaría-Gómez vd., 2011; Williams vd., 2004; Zhang vd., 1997).

VAAN istasyonu hız bileşenleri açısından irdelendiğinde, her üç bileşen için de tüm çözümler 0 mm/yıl'a oldukça yakın kestirilmiştir. Doğu bileşeninde senaryo (I) ve (II) arasındaki fark mutlak değerce yaklaşık 0.06 mm/yıl kadardır. Ayrıca senaryo (II) sonuçlarının 0 mm/yıl'a daha yakın olduğu görülmektedir. Kuzey bileşeninde, senaryo (I) ve (II) arasındaki farklar, BG+KG stokastik modeli için yaklaşık 0.14 mm/yıl, BG+KG+RYG stokastik modeli için 0.52 mm/yıl ve BG+GYG modeli içinse 0.41 mm/yıl kadardır. Yükseklik bileşeninde ise doğu bileşeninde olduğu gibi yaklaşık 0.06 mm/yıl kadarlık bir fark ortaya çıkmaktadır. Hız standart sapmaları açısından bakıldığında, senaryo (I) ve (II) için belirlenmiş en uygun stokastik modellerle kestirilen hız standart sapmaları arasındaki oran; doğu, kuzey ve yükseklik bileşenleri için sırasıyla %17, %94 ve %23 oranında aşırı tahmin edilmişlerdir.

Benzer şekilde MURA istasyonu stokastik olarak irdelendiğinde, hem senaryo (I) hem de senaryo (II) için kendi içlerinde BG+KG gürültü modeli ile, senaryo (I) ve (II) karşılıklı olarak irdelendiklerinde ise senaryo (II) için olan BG+KG gürültü modeli senaryo (I)'dekine göre BIC_c değerine göre daha uygundur. Hız bileşeni açısından irdelendiğinde, senaryo (I) ve (II) arasındaki hız farkları doğu, kuzey ve yükseklik bileşenleri için sırasıyla 0.07, 0.05 ve 0.14 mm/yıl kadardır. En uygun stokastik model ile kestirilen standart sapmalarda ise senaryo (I)'de senaryo (II)'ye göre, %14, %10 ve %8 oranında aşırı tahmin edilmiştir. OZAL istasyonu stokastik olarak irdelendiğinde, senaryo (I) kendi içinde doğu ve kuzey bileşenleri için BG+GYG gürültü modeli ile temsil edilirken yükseklik bileşeni için BG+KG ile temsil edilmektedir. Bu durum senaryo (II) için yalnızca doğu bileşeninde farklılık göstermiş, en uygun stokastik model BG+KG olarak belirlenmiştir. Kuzey ve yükseklik bileşenleri sırasıyla senaryo (I)'de olduğu gibi BG+GYG ve BG+KG gürültü modelleri ile temsil edilmiştir. Senaryo (I) ve (II) karşılıklı olarak irdelendiklerinde ise, tüm bileşenlerde senaryo (II) için hesaplanan BIC_c değerleri senaryo (I)'e göre daha düşüktür. Hız bileşenleri arasındaki farklar, doğu, kuzey ve yükseklik bileşenleri için sırasıyla 0.08, 0.02 ve 0.13 mm/yıl kadardır. En uygun stokastik model ile kestirilen standart sapmalarda ise senaryo (I)'de senaryo (II)'ye göre, %52, %12 ve %4 oranında aşırı tahmin edilmiştir.

3.2.4 Senaryo (I) ve (II) Kosismik Yer Değiştirmeleri

Bu bölümde, farklı iki senaryoda elde edilen kosismik yer değiştirmelerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Senaryo (I) için kosismik yer değiştirmeler doğrudan analizlerden kestirilmişken, senaryo (II) için kosismik yer değiştirmeler deprem öncesi kestirim modelinin deprem tarihindeki değeri ve deprem sonrası modelin deprem tarihindeki değeri arasındaki fark alınarak hesaplanmıştır. Tablo 2, kosismik yer değiştirmeler ve senaryolar arası farkları göstermektedir.

Tablo 2: Senaryo (I)'den kestirilen, senaryo (II)'den kestirilen iki ayrı model kullanılarak hesaplanan kosismik yer değiştirmeler ve aralarındaki farklar.

		Birimler milimetredir.		
		Senaryo (I)	Senaryo (II)	Fark
MURA	Doğu	-12.82	-17.00	-4.18
	Kuzey	-64.24	-59.47	4.77
	Yükseklik	-	-	-
OZAL	Doğu	-3.30	-4.31	-1.01
	Kuzey	8.57	9.35	0.78
	Yükseklik	-2.48	-1.04	1.44
VAAN*	Doğu	-121.45	-105.01	16.44
	Kuzey	143.95	221.83	77.88
	Yükseklik	259.08	199.94	-59.14

*VAAN istasyonu senaryo (I) ve (II) sonuçları Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.

MURA istasyonunda kosismik yer değiştirme farkı doğu ve kuzey bileşenleri için mutlak değerce ortalama 4.5 mm, yükseklik bileşeni için ise yukarıda ifade edildiği gibi her iki senaryoda da anlamsız bir değer kestirimi elde edilmiştir. OZAL istasyonunda kosismik kestirim farkları ortalama 1.0 mm civarındadır. VAAN istasyonunda bu farklar oldukça yüksek değerlere sahiptir. Doğru bileşeni için yaklaşık 16 mm olan fark kuzey bileşeninde yaklaşık 8 cm'lere kadar çıkmıştır. Yükseklik bileşeninde ise farklılık yaklaşık 6 cm olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin büyüklüğü deprem sonrası rahatlama evresinin ele alınma stratejisinin önemini de ortaya koymaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, GPS zaman serileri kullanılarak deprem sonrası rahatlama evresi en uygun değerine optimize edilerek iki farklı şekilde modellenmiş ve hem stokastik süreçleri hem de hız parametre ve standart sapmalarını nasıl etkilediği üzerine irdelemeler yapılmıştır. İki farklı model değerlendirmesi; deprem öncesi ve sonrasını da kapsayacak biçimde bütünleşik bir analiz ve deprem öncesi ve sonrası ayrı ayrı analiz edilerek hata terimlerinin birleştirilmesi şeklinde ele alınmıştır. Uygulama alanı olarak 23 Ekim 2011 Mw=7.2 Van depremi seçilmiştir. Deprem odak merkezine yakınlığı dolayısıyla Harita Genel Müdürlüğü'nden edinilen VAAN, MURA ve OZAL istasyon zaman serileri doğu, kuzey ve yükseklik bileşenleri ifade edilen senaryolara göre değerlendirilmiştir.

Deprem sonrası rahatlama zamanı Nelder-Mead yakınsama algoritmasıyla her iki senaryo için de optimize edilmiştir. Optimizasyon işleminde deprem sonrası en kısa zaman serisi yaklaşık 1 yıl ile VAAN istasyonuna aittir. Buradan hareketle deprem sonrası rahatlama zamanı optimize değerleri anlamsız değerlere eriştiği için 300 gün üst koşulu uygulanmıştır. İlk senaryoda, VAAN istasyonu için doğu, kuzey ve yükseklik bileşenleri için sırasıyla 125, 137 ve 119 gün optimize edilmişken, ikinci senaryoda bu değerler 60, 24 ve 300 gün olarak optimize edilmiştir. Bu değerler, MURA istasyonu için 300, 300 ve 6 gün / 86, 132 ve 57 gün olarak, OZAL istasyonu için ise 300, 300 ve 141 gün / 300, 300 ve 119 gün olarak optimize edilmişlerdir. Deprem sonrası rahatlama zamanının 300 gün üst sınırına erişmesi, ilk senaryoda, deprem öncesi ve sonrası birlikte değerlendirildiği için depremden önceki ölçülerden etkileniyor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Deprem öncesinden bağımsız olan ikinci senaryoda 300 gün üst sınırına erişmesi ise, rahatlama zamanını modellemek için az sayıda ölçü olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, viskoelastik rahatlama evresi modellemesinde kullanılan eksponansiyel fonksiyonun tek başına yetersiz olabileceği, literatür doğrultusunda logaritmik fonksiyon ile de desteklenmesi gerektiğinin bir göstergesi olabilir.

Değerlendirme senaryolarından edinilen doğu, kuzey ve yükseklik güç spektrumları, özellikle bütünleşik analiz (ilk senaryo) sonuçları düşük frekanslarda daha güçlü sinyal karakteri sergilemektedir. Ancak zaman serisi uzunluğu arttıkça frekans uzayında bu farklılığı görmek zorlaşmaktadır ki OZAL istasyonu güç spektrumu bunun bir örneğidir. Düşük frekanslarda güçlü sinyal, RYG'ye bir katkı yapabileceğinin göstergesidir. Buradan hareketle, en uygun stokastik sürecin belirlenmesi işleminde BG+KG, BG+KG+RYG ve BG+GYG modelleri her iki senaryo için irdelenmişlerdir. VAAN istasyonunda, ilk senaryoda BG+KG+RYG ile temsil edilen kuzey bileşen, ikinci senaryoda BG+KG ile temsil edilmiştir. OZAL istasyonunda, ilk senaryoda BG+GYG ile temsil edilen doğu ve kuzey bileşenleri ise ikinci senaryoda yine benzer şekilde BG+KG ile temsil edilmiştir. OZAL istasyonu ilk senaryosunda BG+GYG için kestirilen spektral indeks değerleri yaklaşık -1.25 civarındadır. Bu durum ise stokastik sürecin RYG'ye evrildiğinin de bir göstergesidir. Diğer istasyon ve bileşenlerde BG+KG en uygun model olarak belirlenmiştir. Stokastik irdelemelerin sonucu olarak, ikinci senaryo hata terimi tüm istasyon ve bileşenlerde BG+KG ile temsil edilmişlerdir ki bu durum literatürde sık vurgulanan stokastik süreçtir.

Bütünleşik analizin yapıldığı ilk senaryo ve ayrı analizlerin gerçekleştirilerek birleştirilen ikinci senaryo neticesinde kestirilen hız parametreleri arasında farklılık yaklaşık 0.1 mm/yıl kadardır. Ancak, VAAN istasyonu kuzey bileşeninde bu değer

yaklaşık 0.5 mm/yıl'a kadar çıkmıştır. En uygun stokastik modeller üzerinden ilk senaryo hız standart sapmaları ikinci senaryoya göre özellikle VAAN istasyonu kuzey bileşeninde %94 kadar daha fazladır. Diğer istasyon ve bileşenlerinde bu oranlar %4 – %52 arasında değişmektedir. İlk ve ikinci senaryo hata terimleri karşılaştırıldığında, deprem sonrası rahatlamının ilk senaryoda model ile tam olarak uyuşmadığı, ikinci senaryoya göre stokastik süreçler, hız parametresi ve standart sapmalarındaki farklılığın sebebini açıkça göstermektedir. Hız parametresine benzer olarak kosmik yer değiştirmeler iki senaryo için karşılaştırıldıklarında ise MURA istasyonu için ortalama 4.5 mm, OZAL istasyonu için ortalama 1.1 mm ve VAAN istasyonu için ise 80 mm'ye kadar farklılıklar gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Harita Genel Müdürlüğü'ne bünyelerinde kurulmuş Eski İstasyonlar, TUSAGA ve TUSAGA-Aktif sürekli GPS istasyon zaman serilerini açık erişimle sundukları için teşekkür ederim. Makaledeki şekillerin tümü “Generic Mapping Tools v6.x” açık kaynak kodlu yazılımı ile üretilmiştir (Wessel vd., 2019). Kıymetli değerlendirmeleri için editör Prof. Dr. Bahattin Erdoğan ve iki hakeme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Agnew, D. C. (1992). The time-domain behavior of power-law noises. *Geophysical research letters*, 19(4), 333-336.
- Amiri-Simkooei, A. R., Tiberius, C. C., & Teunissen, P. J. (2007). Assessment of noise in GPS coordinate time series: methodology and results. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B7).
- Aydin, C., Duman, H., Günes, Ö., & Sanli, D. U. (2021). Effect of stochastic model errors on significance test for velocities in analysis of GPS position time series. *Journal of Surveying Engineering*, 147(1), 04020025.
- Bogusz, J., & Klos, A. (2016). On the significance of periodic signals in noise analysis of GPS station coordinates time series. *GPS solutions*, 20, 655-664.
- Bos, M. S., Fernandes, R. M. S., Williams, S. D. P., & Bastos, L. (2013). Fast error analysis of continuous GNSS observations with missing data. *Journal of Geodesy*, 87(4), 351-360.
- Bos, M. S., & Fernandes, R. M. S. (2021). *Hector user manual version 1.9*.
- Calais, E. (1999). Continuous GPS measurements across the Western Alps, 1996–1998. *Geophysical Journal International*, 138(1), 221-230.
- Chen, G., Zhao, Q., Wei, N., & Liu, J. (2018). Impacts on noise analyses of GNSS position time series caused by seasonal signal, weight matrix, offset, and helmert transformation parameters. *Remote Sensing*, 10(10), 1584.
- Dogan, U., Demir, D. Ö., Çakir, Z., Ergintav, S., Ozener, H., Akoğlu, A. M., Nalband, S. S., & Reilinger, R. (2014). Postseismic deformation following the Mw 7.2, 23 October 2011 Van earthquake (Turkey): Evidence for aseismic fault reactivation. *Geophysical Research Letters*, 41(7), 2334-2341.
- Dong, D., Fang, P., Bock, Y., Webb, F., Prawirodirdjo, L., Kedar, S., & Jamason, P. (2006). Spatiotemporal filtering using principal component analysis and Karhunen-Loeve expansion approaches for regional GPS network analysis. *Journal of geophysical research: solid earth*, 111(B3).
- Dzurisin, D. (2003). A comprehensive approach to monitoring volcano deformation as a window on the eruption cycle. *Reviews of Geophysics*, 41(1).
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., & Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of*

- Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275.
- Gualandí, A., Avouac, J. P., Galetzka, J., Genrich, J. F., Blewitt, G., Adhikari, L. B., Koirala, B. P., Gupta, R., Upreti, B. N., Pratt-Sitaula, B., & Liu-Zeng, J. (2017). Pre-and post-seismic deformation related to the 2015, Mw7. 8 Gorkha earthquake, Nepal. *Tectonophysics*, 714, 90-106.
- Hackl, M., Malservisi, R., & Wdowinski, S. (2009). Strain rate patterns from dense GPS networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(4), 1177-1187.
- Hackl, M., Malservisi, R., Hugentobler, U., & Jiang, Y. (2013). Velocity covariance in the presence of anisotropic time correlated noise and transient events in GPS time series. *Journal of Geodynamics*, 72, 36-45.
- Hammond, W. C., Kreemer, C., Blewitt, G., & Plag, H. P. (2010). Effect of viscoelastic postseismic relaxation on estimates of interseismic crustal strain accumulation at Yucca Mountain, Nevada. *Geophysical Research Letters*, 37(6).
- He, X., Montillet, J. P., Hua, X., Yu, K., Jiang, W., & Zhou, F. (2016). Noise analysis for environmental loading effect on GPS position time series. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 14, 131-142.
- He, X., Bos, M. S., Montillet, J. P., & Fernandes, R. M. S. (2019). Investigation of the noise properties at low frequencies in long GNSS time series. *Journal of Geodesy*, 93(9), 1271-1282.
- Hetland, E. A., & Simons, M. (2010). Post-seismic and interseismic fault creep II: Transient creep and interseismic stress shadows on megathrusts. *Geophysical Journal International*, 181(1), 99-112.
- Hosking, J. R. M. (1981). Fractional Differencing. *Biometrika*, 68(1), 165-176.
- Ingleby, T., & Wright, T. J. (2017). Omori-like decay of postseismic velocities following continental earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 44(7), 3119-3130.
- Johnson, H. O., & Agnew, D. C. (1995). Monument motion and measurements of crustal velocities. *Geophysical Research Letters*, 22(21), 2905-2908.
- Kasdin, N. J. (1995). Discrete simulation of colored noise and stochastic processes and $1/f$ power law noise generation. *Proceedings of the IEEE*, 83(5), 802-827.
- Langbein, J. (2008). Noise in GPS displacement measurements from Southern California and Southern Nevada. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B5).
- Langbein, J. (2017). Improved efficiency of maximum likelihood analysis of time series with temporally correlated errors. *Journal of Geodesy*, 91, 985-994.
- Langbein, J., & Johnson, H. (1997). Correlated errors in geodetic time series: Implications for time-dependent deformation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B1), 591-603.
- Lomb, N. R. (1976). Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophysics and space science*, 39, 447-462.
- Mandelbrot, B. B., & van Ness, J. W. (1968). Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. *SIAM review*, 10(4), 422-437.
- Mao, A., Harrison, C. G., & Dixon, T. H. (1999). Noise in GPS coordinate time series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104(B2), 2797-2816.
- Marone, C. J., Scholtz, C. H., & Bilham, R. (1991). On the mechanics of earthquake afterslip. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 96(B5), 8441-8452.
- Özdemir, S. (2016). TUSAGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının hassas koordinat ve hızlarının hesaplanması üzerine. *Harita Dergisi*, 155, 53-81.
- Perfettini, H., & Avouac, J. P. (2004). Postseismic relaxation driven by brittle creep: A possible mechanism to reconcile geodetic measurements and the decay rate of aftershocks, application to the Chi-Chi earthquake, Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109(B2).
- Press, W. H. (2007). *Numerical recipes: The art of scientific computing (3rd ed.)*. Cambridge University Press.
- Santamaría-Gómez, A., Bouin, M. N., Collilieux, X., & Wöppelmann, G. (2011). Correlated errors in GPS position time series: Implications for velocity estimates. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(B1).
- Santamaría-Gómez, A., & Ray, J. (2021). Chameleon noise in GPS position time series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(3), e2020JB019541.
- Scargle, J. D. (1982). Studies in astronomical time series analysis. II-Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced

data. *Astrophysical Journal, Part 1, vol. 263, Dec. 15, 1982, p. 835-853.*, 263, 835-853.

- Tiryakioglu, I., Yavasoglu, H., Ugur, M. A., Özkaymak, Ç., Yilmaz, M., Kocaoglu, H., & Turgut, B. (2017). Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van earthquakes using long-term GNSS time series. *Earth Sciences Research Journal, 21*(3), 147-156.
- Vallianatos, F., & Sakkas, V. (2021). Multiscale Post-Seismic Deformation Based on cGNSS Time Series Following the 2015 Lefkas (W. Greece) Mw6. 5 Earthquake. *Applied sciences, 11*(11), 4817.
- Wdowinski, S., Bock, Y., Zhang, J., Fang, P., & Genrich, J. (1997). Southern California permanent GPS geodetic array: Spatial filtering of daily positions for estimating coseismic and postseismic displacements induced by the 1992 Landers earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 102*(B8), 18057-18070.
- Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H., & Tian, D. (2019). The generic mapping tools version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 20*(11), 5556-5564.
- Williams, S. D. P. (2003a). Offsets in global positioning system time series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 108*(B6).
- Williams, S. D. P. (2003b). The effect of coloured noise on the uncertainties of rates estimated from geodetic time series. *Journal of Geodesy, 76*, 483-494.
- Williams, S. D. P., Bock, Y., Fang, P., Jamason, P., Nikolaidis, R. M., Prawirodirdjo, L., Miller, M., & Johnson, D. J. (2004). Error analysis of continuous GPS position time series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 109*(B3).
- Zhang, J., Bock, Y., Johnson, H., Fang, P., Williams, S., Genrich, J., Wdowinski, S., & Behr, J. (1997). Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Error analysis of daily position estimates and site velocities. *Journal of geophysical research: solid earth, 102*(B8), 18035-18055.
- URL-1: <https://www.harita.gov.tr/public/sunum/>, (Erişim Tarihi: 19 Şubat 2023).

Research on 3D reconstruction of small size objects using structure from motion photogrammetry via smartphone images

Duygu Arıcan^{1*} , Ferat Furkan Goksu¹ , Nursu Tunalioglu¹ , Taylan Ocalan¹ 

¹Yıldız Technical University, Campus of Davutpaşa, Faculty of Civil Engineering, Department of Geomatic Engineering, Esenler, Istanbul, Türkiye.

Abstract: According to the recent developments on image acquisition via relatively low-cost devices such as smartphones or tablets, researches on Structure-from-Motion (SfM) photogrammetry-based 3 dimensional (3D) model reconstruction become more popular and wide frequent practice especially for study areas in geology/geomorphology, historical heritage, forestry, etc. Thus, this paper demonstrates accuracy assessment of SfM photogrammetry-based 3D model reconstruction of small size objects by altering number of the source imagery captured by smartphone and represents change detection of the generated datasets as (i) cloud-to-cloud and (ii) mesh-to-cloud comparisons. The number of images was decreased as 25% of each datasets belonging three different detail types of small size objects as the Safranbolu miniature house (SMH), a trinket made of a combination of historical buildings in Rome (HBR), and a wooden object (WO). A total of 12 datasets were generated and 9 cloud-to-cloud, and 21 mesh-to-cloud comparisons were performed. Since the obtained results show that the quality of 3D models of objects varies according to their shapes and sizes, change detection analyses show that the detail level of the objects are highly correlated with the resultant model accuracy.

Keywords: Structure-from-Motion (SfM) photogrammetry, Smartphone imagery, 3D Model reconstruction, Change detection

Küçük boyutlu nesnelerin 3 boyutlu modellemesi için akıllı telefon görüntüleri kullanılarak hareketten nesne oluşturma fotogrametrisine dayalı bir araştırma

Öz: Son yıllarda, akıllı telefon ya da tabletler gibi nispeten düşük maliyetli cihazlarla görüntü elde etme alanında yaşanan gelişmeler sonucunda, Hareketten Nesne Oluşturma (HNO) fotogrametrisine dayalı 3 boyutlu (3B) modelleme popüler olmuş ve özellikle jeoloji/jeomorfoloji, kültürel miras, orman vb. alanlarda yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, akıllı telefon kamerası ile elde edilen görüntülerden değişen görüntü sayılarına dayalı 3B model oluşturma potansiyelinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, küçük boyutlu nesnelere ait akıllı telefon kameraları kullanılarak elde edilen farklı sayıdaki görüntüler kullanılarak HNO fotogrametrisine dayalı 3B veri setleri oluşturulmuş ve bu veri setleri için (i) nokta bulutları arasında, (ii) üçgen model ile nokta bulutu arasında, olmak üzere sapma analizleri gerçekleştirilmiştir. Safranbolu minyatürü (SMH), Roma biblosu (HBR) ve ahşap nesne (WO) olmak üzere farklı detay düzeylerinde seçilen bu üç farklı boyuttaki nesne için elde edilen görüntüler her veri setinde %25 oranında azaltılmıştır. Bu şekilde, toplam 12 farklı veri seti oluşturulmuş ve bu veri setleri için nokta bulutları arasında 9, üçgen model ile nokta bulutu arasında ise 21 farklı karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Buna göre, elde edilen sonuçlar dikkate alındığında 3B modellerin doğruluğunun, modellemesi yapılan nesnelerin şekilsel ve boyutsal farklılığına göre değiştiği görülmekle birlikte, sapma analizine dayalı elde edilen sonuçlar nesnenin detay düzeyi ile sonuç model doğruluğu arasında yüksek ilişki olduğunu göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Hareketten nesne oluşturma (HNO), Akıllı telefon görüntüsü, 3B Model oluşturma, Değişim analizi

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5298

Geliş Tarihi/Received: 09.02.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 06.04.2023



0000-0002-4618-4357, duyguaricann@gmail.com (Arıcan D.)*
0000-0002-8173-4836, feratgoksu@gmail.com (Goksu F.F)
0000-0001-9345-5220, ntunali@yildiz.edu.tr (Tunalioglu N)
0000-0003-0861-013X, tocalan@yildiz.edu.tr (Ocalan T.)

1. Introduction

Computer-based 3 dimensional (3D) modeling has been a long-term purpose especially in accurate and realistic model generation (Tanskanen et al., 2013). Recent technological developments on image acquisition via relatively low-cost equipment and recent development of photogrammetric technique (Prosdocimi et al., 2017) for 3D photogrammetric modeling bring acceleration to this essential task. With the development of image processing methods, generating accurate digital surface models at relatively low-cost and in less time compared to other methods has become a current research topic in this field (Carbonneau, Lane, & Bergeron, 2003; Chandler, Ashmore, Paola, Gooch, & Varkaris, 2002; Lane et al., 2010). Moreover, use of metric and non-metric cameras on digital photogrammetry-based modeling extends the implementation areas to different studies (Mali & Kuiry, 2018). 3D reconstruction of scenes and objects has widely been used in many different applications such as reverse engineering, medicine, security, crime investigation (Chen et al., 2021), geomorphological studies, 3D topography reconstruction (Ding, Zheng, Zhou, Xiong, & Gong, 2018), historical heritage inventory facilities (De Reu et al., 2014). Recently, the feasibility of image acquisition based on smart devices such as smartphones and tablets have been introduced broader fields of applications (Jasińska, Pyka, Pastucha, & Midtiby, 2023). Many studies such as in digital landform generation purposes (Micheletti, Chandler, & Lane, 2015), volumetric earthwork computations (Jeong, H. Ahn, Shin, Y. Ahn, & Choi, 2019; Wróżyński, Pyszny, Sojka, Przybyła, & Murat-Błażejewska, 2017), artefacts of cultural heritage and documentation (Barszcz, Montusiewicz, Pańnikowska-Łukaszuk, & Sałamacha, 2021) have been conducted by the researchers for 3D model reconstruction following SfM photogrammetry, where the images collected via smartphones. Guidi, Micoli, Gonizzi, Brennan and Frischer (2015) aimed to analyze the model quality of small-medium size objects based on SfM and Image Matching (IM) with different shooting configurations. The results with greater overlap considerably decrease in measurement uncertainty. Clini, Frapiccini, Mengoni, Nespeca and Ruggeri (2016) conducted a study for 3D digital documentation of small sized (a few cm) archeological artifacts following image-based SfM methodology and tested focus stacking, and concluded that effective results regarding high definition 3D models may be provided. Collins, Woolley, Gehlken and Ch'ng (2019) investigated 3D small artifact generation using a turntable and an automated procedure based on SfM photogrammetry captured by ultra-low cost smartphone and digital camera. The automated procedure achieved high precision and visually qualified textures. Jasińska et al. (2023) focused on deformation reduction of the 3D models generated via smartphone photogrammetry and conducted a two-stage study as first they controlled the performance of stability of the internal orientation parameters by self-calibration and then they modelled small objects by selected images. According to the results, even limitations smartphone photogrammetry has introduced potential usage areas.

As it can vary according to the aim of the study, the accuracy investigation of the resultant 3D model is an ongoing issue in terms of data source collected via mobile low-cost devices. Since modeling with relatively low-cost devices, decrease in time can be searched via the number of the images to be collected for modeling the scene or the object. Although some factors can affect the quality of the resultant in terms of complexity, lighting, and materials, there are no guidelines for deciding the minimum number of images needed to reconstruct the scene. Although, each feature must be visible in a minimum of three images (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012). Thus, this study aims to investigate the feasibility of using low-cost device collected images for 3D model reconstruction of small size objects with altering the number of images to assess the accuracy of SfM photogrammetry-based 3D model reconstruction. As high-level capacity of SfM photogrammetry in large scale modeling facilities is a well-known topic, according to the small scale details of smaller objects in shape needs to be investigated. Three small size objects were selected regarding level of detail and texture and datasets were generated by altering number of the source imagery captured by smartphone. The change detection of the generated datasets was performed following two strategies as (i) cloud-to-cloud and (ii) mesh-to-cloud comparisons. The number of

images was decreased as 25% of each datasets belonging three different detail types of small size objects. A total of 12 datasets were generated and 9 cloud-to-cloud, and 21 mesh-to-cloud comparisons were performed. The results of the study were represented in the following sections.

2. Materials and Methods

Traditional photogrammetry needs 3D camera positions and coordinates of the ground control points (GCP) to build scene triangulation and reconstruction. Contrary, the SfM methodology automatically and simultaneously uses multiple overlapped images to estimate positions of the camera and scene geometry (Yang, Chao, Huang, Lu, & Chen, 2013). This estimation is carried out by the matching features in the set of overlapped images. These features are followed image by image and make it possible initial detections of camera positions and object coordinates (Westoby et al., 2012). This is the main issue of the SfM, dealing with the determination of the 3D location of matching features in multiple images taken from different angles. Identification of the features from each image that is used for image matching is the first step of the solution. The model geometry and camera position information are solved simultaneously and automatically in SfM technique, consequently camera calibration is not required. The most popular solution to this problem is the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) method (Lowe, 1999). Features in each image are identified scale and rotation invariant in different illumination conditions using this method. Matching points or "key points" are automatically identified in all scales and locations. Then, a feature descriptor is created. This is calculated as converting local image gradients into a representation. As should be noted here, this is largely insensitive to variations in illumination and orientation. These descriptors are unique enough to allow features to be matched in large datasets (Westoby et al., 2012).

Usually, the number of key points is related to the image quality, texture, sharpness, and resolution of the dataset. Therefore, these qualities determine the quality of the resultant point cloud. Complex images produce more key points. Correspondingly, the closer distance between the object and the camera stations increases the spatial resolution of the image, hence it increases the spatial density and resolution of the point cloud. Since complexity, lighting, and materials could affect the image texture, there is no guidance on the minimum number of images required for scene reconstruction. Although, each feature must be visible in a minimum of three images (Westoby et al., 2012). After key point identification and descriptor assignment, the position of the camera station is estimated using bundle adjustment and a low-density or sparse point cloud is produced. The key points from multiple images are matched using the approximate nearest neighbor method. Minimum of two key points and three images are required for the reconstruction of the point cloud (Westoby et al., 2012). Multi-View Stereo (MVS) algorithms are based on the correlations between measurements from a set of images at once to acquire 3D surface information. Many of the MVS methods aim to reconstruct all images simultaneously. Thus, this approach is not practical while working with more extensive datasets. Rather selecting a subset from the dataset is more important and clustering them into convenient samples (Furukawa, Curless, Seitz, & Szeliski, 2010). Clustering View for Multi-View Stereo (CMVS) approach clusters and selects the optimal viewpoint by a four-step iterative approach. These steps are (1) merging the sparse point clouds generated from SfM, (2) removing low-quality images, (3) clustering images into smaller components, and finally (4) adding images to weak clusters (Mahami, Nasirzadeh, Hosseininaveh Ahmadian, & Nahavandi, 2019).

Patch-based Multi-View Stereo (PMVS) represents the surface with a local tangent plane approximation of a surface. This algorithm is easy to implement and effective. The first step of this approach is creating a small 3D patch in 3D space, for each matched feature point. The center of this patch is the triangulation point from all the matched feature points from the reference and visible images. Afterward, the 3D patch is oriented around the center, which also has to be parallel to the current reference image and one of its edges is parallel to the x-axis of the reference image. Then the next step, each point

inside of the patch is projected back to the reference image and all visible images. After that, a small two-dimensional patch is obtained from each image (Yao, AliAkbarpour, Seetharaman, & Palaniappan, 2018). PMVS uses undistorted images, the orientation parameters of these images, sparse point clouds, and projection matrices to determine a dense and accurate set of rectangular patches. PMVS consists of matching, expansion, and filtering steps (Mahami et al., 2019). Then estimations are refined iteratively using non-linear least-squares minimization. Initially, the 3D point cloud is produced in a relative coordinate system. It must be aligned to a real-world coordinate system. The GCPs provide the scale and orientation. Hence, in transforming a relative coordinate system to the real-world coordinate system, GCPs are required (Westoby et al., 2012).

In this study, VisualSFM was used for generating point clouds from images. Following, CloudCompare was used to georeference point clouds, then subsequently to remove the outliers and noises. The 3D model reconstruction process was utilized in Meshlab. Cloud-to-cloud and cloud-to-mesh distances were calculated in CloudCompare. Mean distances and standard deviations were calculated in Matlab.

3. Case Study

In this study, the effects of low-cost sensor image and its amounts on point cloud generation were investigated. Three different datasets were acquired from iPhone 6S Plus (pixel resolution: 1080x1920; pixel size: 1.5 μm ; f: 2.2 mm) for evaluation. The datasets were generated by taking images of objects with different shapes. The modeling procedure was implemented to small size objects (circa Safranbolu miniature house 12x25x25; trinket made of a combination of historical buildings in Rome 6x7x6; and wooden object 7x7x10 cm) represented in Figure 1. The objects that were selected for the evaluations depending on their detail level are the Safranbolu miniature house (SMH) as complex, a trinket made of a combination of historical buildings in Rome (HBR) as sculptural, and a wooden object (WO) as primitive. The workflow was followed in this study shown in Figure 2.



Figure 1: The objects that were selected to generate the 3D point clouds: a) Safranbolu miniature house (SMH), b) Historical buildings in Rome Trinket (HBR), and c) Wooden object (WO)

GCPs were marked in the experimental area and measured before acquiring the data. The images were acquired as overlapped from 8 angles at 44 camera stations. Thus, 352 images were obtained from approximately the same camera stations for each object. After the image acquisition, the datasets were reduced by 25%, 50%, and 75%, respectively according to the resampling method, and thus three more datasets, a total of four datasets, were generated for each object. Reduction procedure is implement due to investigation of the number of images to be required for 3D modeling association with the accuracy level of model. The number of images in all datasets is shown in Table 1.

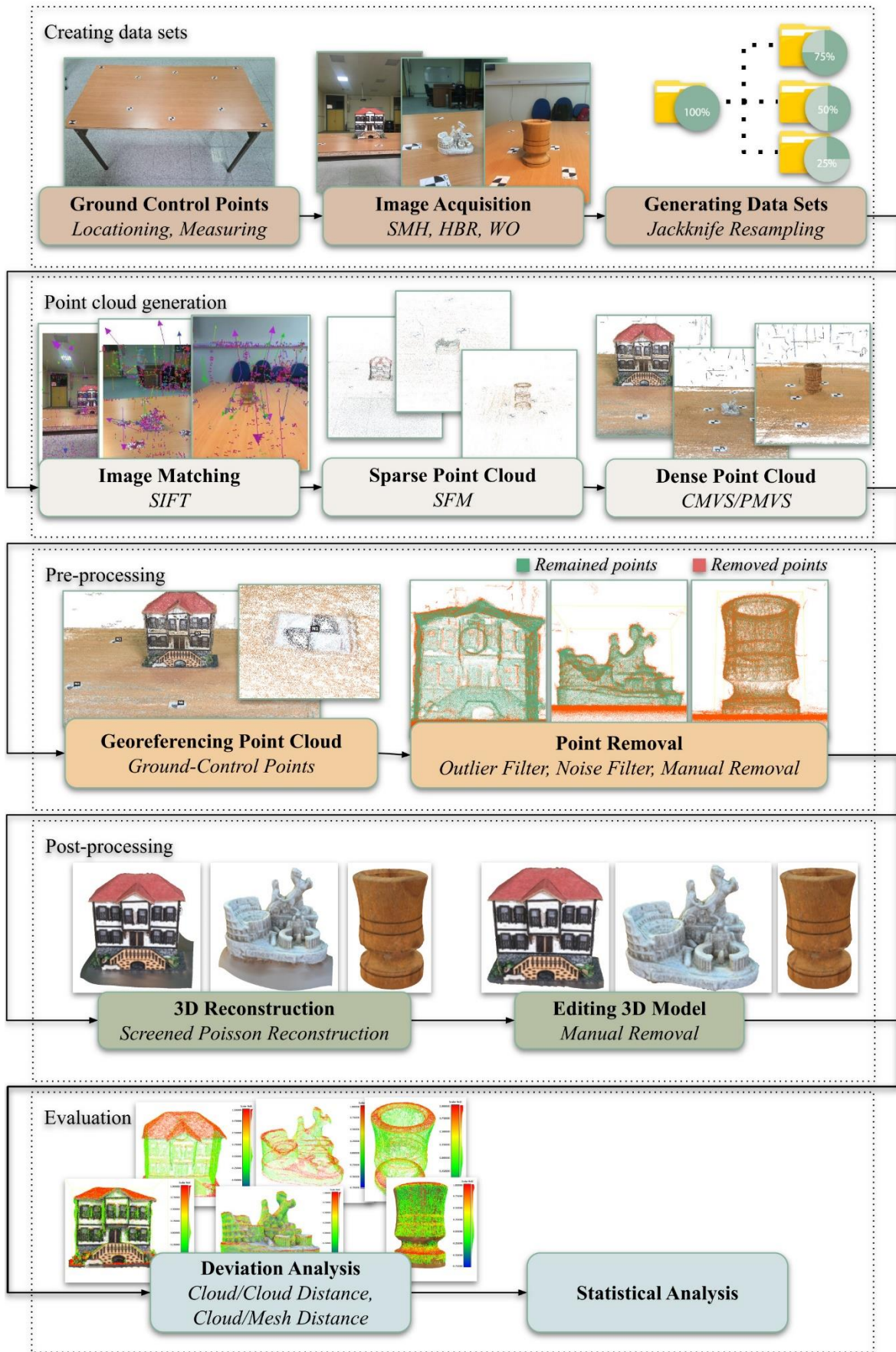
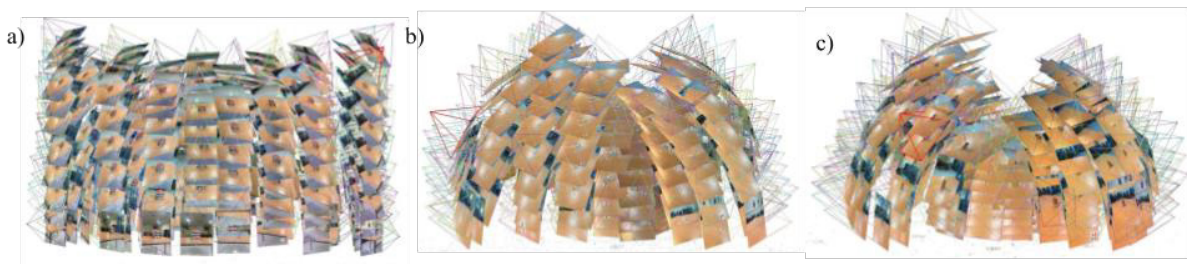


Figure 2: Study workflow

Table 1: Number of images in each dataset

Definition	Dataset	Number of Images
<i>Safranbolu Miniature House</i>	SMH 100	352
	SMH 75	264
	SMH 50	176
	SMH 25	88
<i>Historical Buildings in Rome Trinket</i>	HBR 100	352
	HBR 75	264
	HBR 50	176
	HBR 25	88
<i>Wooden Object</i>	WO 100	352
	WO 75	264
	WO 50	176
	WO 25	88

SfM/CMVS/PMVS approach was followed to produce dense point clouds for all datasets. In this method, SIFT algorithm was utilized for image matching. Following image matching, camera stations are estimated, and low-density or sparse point cloud occurs. The number of points in the sparse point cloud is less than in the dense point cloud, hence it is difficult to recognize the points, which belong to the object in this step. The estimated camera stations of reference datasets for each object are shown in Figure 3.

**Figure 3:** Estimated camera stations: a) SMH 100 b) HBR 100 c) WO 100

After that, dense point clouds are created by CMVS/PMVS approach. Each point cloud initially has a relative coordinate system and scale. For each point cloud, the same 6 GCPs in the experiment area were used to transform a relative coordinate system into a real-world coordinate system based on 3D similarity transformation.

The point clouds created from images have also points that do not belong to the objects. These points were removed by utilizing Statistical Outlier Removal (SOR) filter, noise filter, and manual removal in CloudCompare software, respectively. SOR Filter estimates the average distance of each point to its neighbors considering the k-nearest neighbors algorithm. Then the points farther than the average distance are removed. 50 nearest neighbors were used in this study to perform the SOR filter. The noise filter of CloudCompare is also similar to the SOR filter but it uses the underlying surface instead of the average distance estimated by neighbors. The underlying surface is estimated by the radius or the number of neighbors. In this study, 50 neighbors were used to calculate the surface. If the point is too far away from the locally fitted plane, it was removed. After the utilization of point cloud removal filters, it is also necessary to clean point clouds manually since they have other objects in the experimental area. Therefore, all the point clouds were manually cleaned. Table 2 shows the number of point clouds subsequent to each step, where the first two columns represent the number of sparse and dense point clouds generated and the last three columns demonstrate the filtering stages applied with remaining numbers of points in each step. Since the point clouds generated involve points that do not belong to the objects and the objects subjected to this study are small size, the differences between the numbers of points have been occurred.

Table 2: The number of points in point clouds obtained after each step

Dataset	Number of points in point clouds				
	Sparse	Dense	SOR Filtered	Noise Filtered	Manually Cleaned
SMH 100	74 552	6 350 941	5 629 279	4 133 005	384 925
SMH 75	63 406	6 082 690	5 396 043	4 015 097	338 743
SMH 50	45 950	3 318 940	2 915 703	2 107 655	199 920
SMH 25	22 912	1 508 194	1 309 501	938 760	94 454
HBR 100	40 518	6 270 809	5 931 189	4 335 087	201 545
HBR 75	33 212	4 063 899	3 818 454	2 777 767	135 317
HBR 50	24 506	3 168 460	2 981 414	2 157 836	102 585
HBR 25	10 719	1 643 116	1 506 311	1 074 670	57 076
WO 100	26 554	5 205 536	4 954 481	3 639 560	292 625
WO 75	20 667	4 254 933	4 022 772	2 935 886	252 776
WO 50	14 978	2 673 994	2 490 451	1 812 470	152 976
WO 25	20 518	4 016 088	3 855 715	2 797 078	236 328

Following the pre-processing steps, 3D Reconstruction was carried out by Screened Poisson Surface Reconstruction method (Kazhdan & Hoppe, 2013). There are triangles extending objects outward in some areas on the 3D models. These triangles were manually removed by cropping. The number of faces of 3D meshes is shown in Table 3 as the second column in number of faces section represents the total number and the third column shows the edited faces that can be deleted or changed in shape.

Table 3: The number of faces in 3D meshes

Dataset	Number of Faces	
	Screened Poisson Reconstruction	Edited Mesh
SMH 100	316 206	305 348
SMH 75	313 173	300 981
SMH 50	311 228	298 943
SMH 25	292 952	282 844
HBR 100	309 177	286 718
HBR 75	313 655	294 400
HBR 50	309 244	292 441
HBR 25	271 781	256 658
WO 100	433 146	432 467
WO 75	445 172	444 246
WO 50	399 448	396 623
WO 25	450 594	449 974

4. Results and Discussion

In this study, the effects of the number of images on the point clouds and mesh generation by using relatively low-cost devices, here a smartphone camera, were investigated. Twelve datasets were utilized as three of them were acquired and nine of the datasets were derived from those three for three differently shaped objects. Point clouds are generated by implementing SfM method. Lastly, meshes are generated by Screened Poisson Reconstruction method.

Generated clouds are compared by acquired datasets as reference. Cloud-to-cloud distances were calculated based on the least square plane and colored by scalar field, which is shown in Figure 4. Further, mean distances and standard deviations are calculated by the cloud-to-cloud distance shown in Table 4. In all comparisons, the reference model is generated by using 100% imagery in all objects. As SMH is a detailed object, the maximum standard deviation is computed between SMH 100 and SMH 50 as 0.978 although the minimum standard deviation is computed as 0.601 mm between reference and SMH 75

as expected. For second object, namely HBR, also involved complex details, the minimum standard deviation is computed as 0.270 mm between reference and HBR 25 and maximum standard deviation is as 0.348 mm between reference and HBR 75. This can be caused by due to the complexity of the object that a proper cloud dataset could not be formed hence the object HBR is the most complex one among the objects selected for the test. This can be supported by the results obtained for the third object, namely WO because the object WO is the plainest one among them. Thus, the standard deviation and mean distance values are computed very close to each other results when compared between reference and WOs 75, 50, and 25. This also shows the number of decreasing images may not affect the resultant model if small size and plain featured object is selected for 3D modeling.

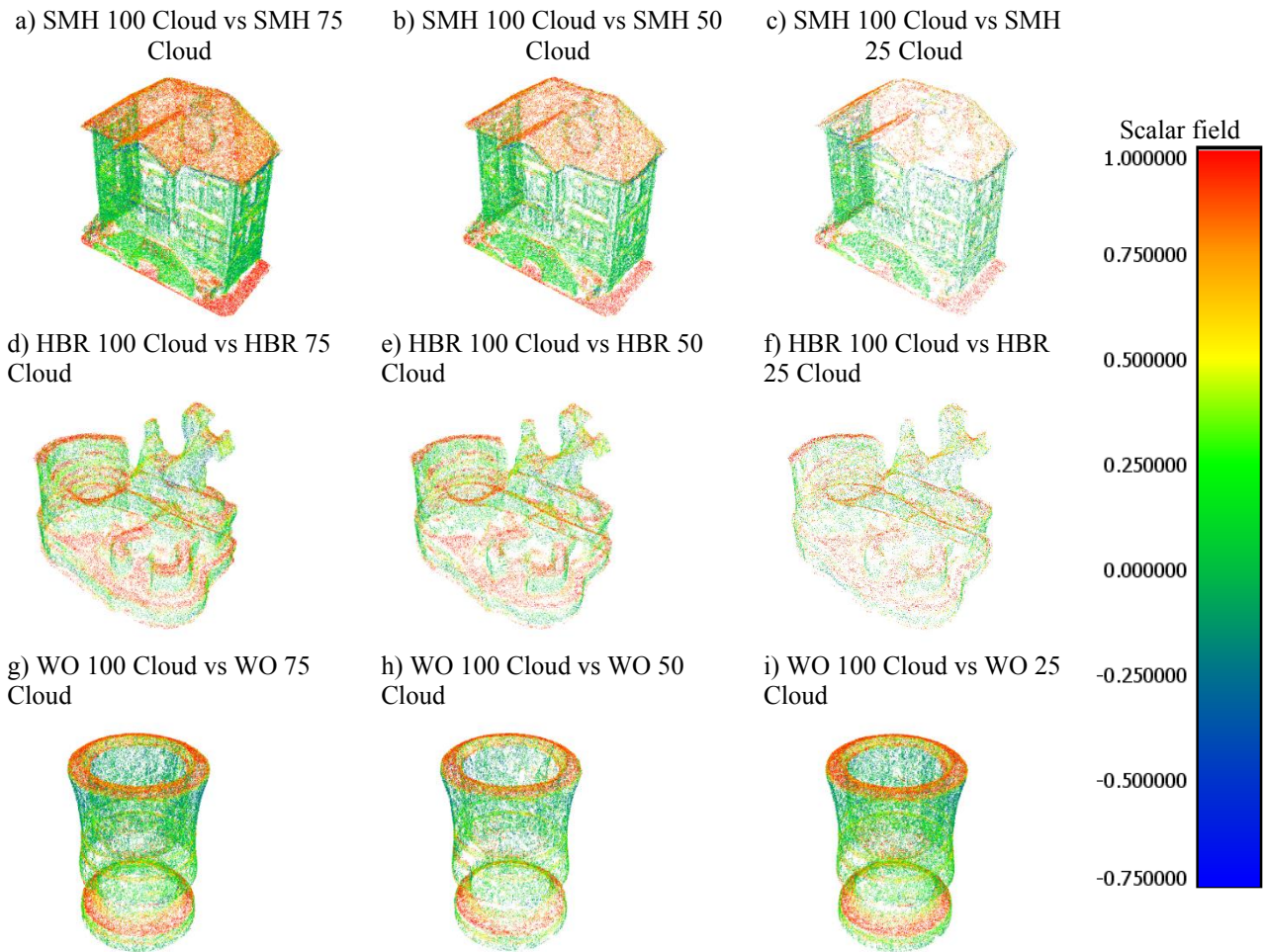


Figure 4: Cloud-to-cloud distances (for visual representation scalar field: blue (-0.75) to red (1.00))

Table 4: Mean distances and standard deviations obtained from cloud-to-cloud comparison

Reference Point Cloud	Compared Point Cloud	Mean Distance (mm)	Std. Deviation (mm)
SMH 100	SMH 75	0.471	0.601
	SMH 50	0.639	0.978
	SMH 25	0.710	0.913
HBR 100	HBR 75	0.278	0.348
	HBR 50	0.219	0.282
	HBR 25	0.211	0.270
WO 100	WO 75	0.521	0.656
	WO 50	0.512	0.652
	WO 25	0.509	0.637

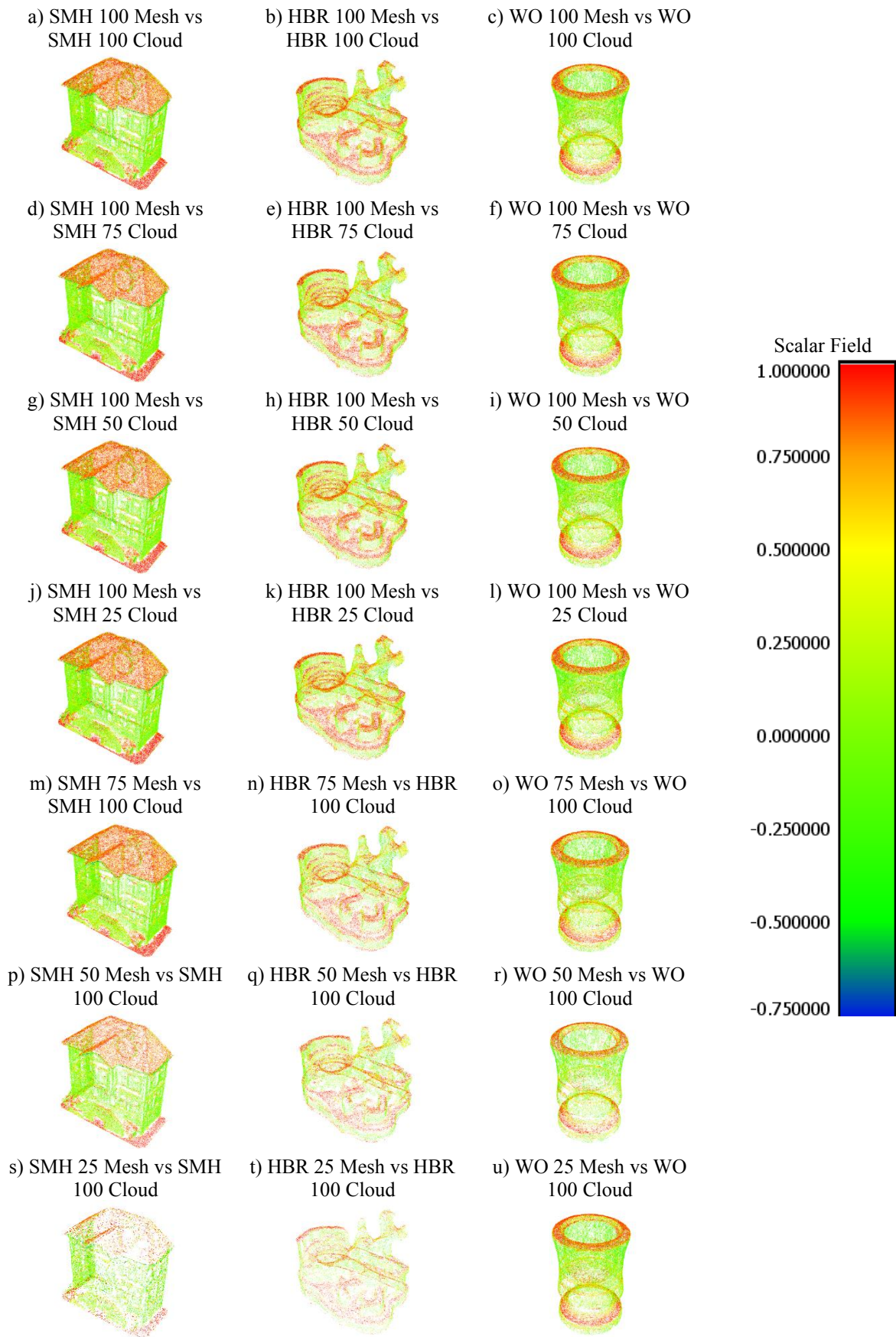


Figure 5: Compared point clouds by mesh-to-cloud distances (for visual representation scalar field: blue (-0.75) to red (1.00))

Mesh-to-cloud distances were also calculated by the meshes set as reference. Compared datasets were colored by scalar field. Colored point clouds were shown in Figure 5. Moreover, mean distances and standard deviations are calculated by the mesh-to-cloud distance shown in Table 5. As a total of 12 datasets were generated, 21 mesh-to-cloud comparisons were performed. Here, mesh models of the objects were used for comparison issues. The reference mesh model has been changed as 100, 75, 50, and 25% usage of images captured by smartphone. For the object SMH, the minimum standard deviation is computed between SMH 100 mesh model and SMH 100 point cloud as 0.660 mm and the mean distance of the deviation is computed as 0. Contrary to this the maximum differences in standard deviation for this object are as 1.782 and 1.659 mm between SMH 50 mesh model and SMH 100 point cloud and SMH 25 mesh model and SMH 100 point cloud, respectively. That can be concluded as an approximately three times worse models have been obtained when decreasing the number of images up to 25%. Among the comparisons results represented in Table 5, minimum standard deviation and mean distance values are listed for the object HBR. However, as mentioned before this object is the most complex one of them. When investigating the mesh models of this object, it can be seen that the details could not be defined and formed properly in the mesh models. Thus, compared parts of the object on mesh models has matched. Even so, the minimum and maximum standard deviations of this comparison are computed as 0.310 and 0.599 mm between HBR 100 mesh model and HBR 100 and HBR 100 mesh model and HBR 75 point clouds, respectively. Finally, for the object WO, the minimum standard deviation value is as 0.196 mm between WO 100 mesh model and WO 100 point cloud that value is also the most accurate one among these 21 comparisons.

Table 5: Mean distances and standard deviations obtained from mesh-to-cloud comparison

Reference Mesh	Compared Point Cloud	Mean Distance (mm)	Std. Deviation (mm)
SMH 100	SMH 100	0.000	0.660
	SMH 75	-0.015	1.002
	SMH 50	0.084	1.544
	SMH 25	0.127	1.520
SMH 75		0.037	1.078
SMH 50	SMH 100	-0.002	1.782
SMH 25		-0.202	1.659
HBR 100	HBR 100	0.025	0.310
	HBR 75	0.314	0.599
	HBR 50	0.248	0.491
	HBR 25	0.222	0.490
HBR 75		-0.226	0.585
HBR 50	HBR 100	-0.203	0.505
HBR 25		-0.200	0.514
WO 100	WO 100	0.005	0.196
	WO 75	0.059	0.854
	WO 50	0.077	0.887
	WO 25	-0.080	0.828
WO 75		-0.089	0.810
WO 50	WO 100	-0.073	1.019
WO 25		0.068	0.809

5. Conclusion

Today's technological developments on image acquisition and recent development of photogrammetric technique accelerate the computer-based accurate and realistic 3D modeling. Recently, due to the widespread increasing usage capacity of the smart devices such as mobile phones, tablets etc., and their sensors with different functions i.e. cameras, navigation chipset, result in new scientific research areas raised. In terms of 3D photogrammetric modeling, generating accurate digital surface models at relatively low-cost and in less time compared to other methods has become a significant tool in many different applications such as reverse engineering, medicine, security, crime investigation, geomorphological studies, historical

heritage inventory facilities, 3D topography reconstruction, search and rescue facilities etc. As the detail level of objects has increased while decreasing the shape sizes, the utility of SfM photogrammetry in terms of providing effective modeling solutions using smart devices may reduce the observation cost with meeting the required accuracies that may be changed by the aim of study. This study aims to investigate the feasibility of modeling small size objects with SfM based photogrammetry using images captured by a low-cost device. Three small size objects were selected regarding level of detail and texture (plain to complex) and datasets were generated by altering number of the source imagery captured by smartphone. The change detection of the generated datasets was performed following two strategies as (i) cloud-to-cloud and (ii) mesh-to-cloud comparisons. The number of images was decreased as 25% of each datasets belonging three different detail types of small size objects. A total of 12 datasets were generated and 9 cloud-to-cloud, and 21 mesh-to-cloud comparisons were performed. When comparing based on cloud-to-cloud methodology, it can be concluded that the standard deviation and mean distance values are computed very close to each other results when considering plain and medium detailed object forms. Moreover, decreasing the number of images may not change the resultant model if small size and plain-medium featured object is selected for 3D modeling. Additional, comparing mesh models by point clouds results in similar findings with cloud-to-cloud comparisons. Lastly, it can be concluded that the obtained results show that the quality of 3D models of objects varies according to their shapes and sizes, change detection analyses show that the detail level of the objects are highly correlated with the resultant model accuracy.

Acknowledgements

Duygu Arican is a Ph.D. scholarship holder from the Council of Higher Education (YÖK) in the field of "GIS and Informatics Applications", which is one of the 100 national priority areas determined by YÖK within the scope of the YÖK 100/2000 Doctorate Program.

Author Contribution

Duygu Arican: Conception, Design, Data collection and processing, Analysis, Writing, Literature review. **Ferat Furkan Goksu:** Data collection and processing, Literature review. **Nursu Tunalioglu:** Conception, Design, Analysis, Writing, Literature review, Supervision. **Taylan Ocalan:** Design, Analysis, Writing, Supervision.

Declaration of Competing Interests

The authors declare that they have no known relevant competing financial or non-financial interests that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- Barszcz, M., Montusiewicz, J., Pańnikowska-Lukaszuk, M., & Sałamacha, A. (2021). Comparative analysis of digital models of objects of cultural heritage obtained by the "3D SLS" and "SfM" methods. *Applied Sciences*, *11*(12), 5321.
- Carbonneau, P. E., Lane, S. N., & Bergeron, N. E. (2003). Cost-effective non-metric close-range digital photogrammetry and its application to a study of coarse gravel river beds. *International journal of remote sensing*, *24*(14), 2837-2854.
- Chandler, J., Ashmore, P., Paola, C., Gooch, M., & Varkaris, F. (2002). Monitoring river-channel change using terrestrial oblique digital imagery and automated digital photogrammetry. *Annals of the Association of American Geographers*, *92*(4), 631-644.
- Chen, H., Xu, F., Liu, W., Sun, D., Liu, P. X., Menhas, M. I., & Ahmad, B. (2021). 3D reconstruction of unstructured objects using

- information from multiple sensors. *IEEE Sensors Journal*, 21(23), 26951-26963.
- Clini, P., Frapiccini, N., Mengoni, M., Nespeca, R., & Ruggeri, L. (2016). SfM Technique and Focus Stacking for Digital Documentation of Archaeological Artifacts. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41B5, 229–236.
- Collins, T., Woolley, S. I., Gehlken, E., & Ch'ng, E. (2019). Automated low-cost photogrammetric acquisition of 3D models from small form-factor artefacts. *Electronics*, 8(12), 1441.
- De Reu, J., De Smedt, P., Herremans, D., Van Meirvenne, M., Laloo, P., & De Clercq, W. (2014). On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice. *Journal of Archaeological Science*, 41, 251-262.
- Ding, Y., Zheng, X., Zhou, Y., Xiong, H., & Gong, J. (2018). Low-cost and efficient indoor 3D reconstruction through annotated hierarchical structure-from-motion. *Remote Sensing*, 11(1), 58.
- Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2010). Towards internet-scale multi-view stereo. *2010 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition*, 1434-1441.
- Guidi, G., Micoli, L. L., Gonizzi, S., Brennan, M., & Frischer, B. (2015). Image-based 3D capture of cultural heritage artifacts an experimental study about 3D data quality. *2015 Digital Heritage*, 321-324.
- Jasińska, A., Pyka, K., Pastucha, E., & Midtby, H. S. (2023). A Simple Way to Reduce 3D Model Deformation in Smartphone Photogrammetry. *Sensors*, 23(2), 728.
- Jeong, H., Ahn, H., Shin, D., Ahn, Y., & Choi, C. (2019). A Comparative Assessment of the Photogrammetric Accuracy of Mapping Using UAVs with Smart Devices. *Photogramm. Eng. Remote Sens*, 85, 889-897.
- Kazhdan, M., & Hoppe, H. (2013). Screened poisson surface reconstruction. *ACM Transactions on Graphics (ToG)*, 32(3), 1-13.
- Lane, S. N., Widdison, P. E., Thomas, R. E., Ashworth, P. J., Best, J. L., Lunt, I. A., Sambrook, S., & Simpson, C. J. (2010). Quantification of braided river channel change using archival digital image analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(8), 971-985.
- Lowe, D. G. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. *Proceedings of the seventh IEEE international conference on computer vision*, 1150-1157.
- Mahami, H., Nasirzadeh, F., Hosseininaveh Ahmadabadian, A., & Nahavandi, S. (2019). Automated progress controlling and monitoring using daily site images and building information modelling. *Buildings*, 9(3), 70.
- Mali, V. K., & Kuiry, S. N. (2018). Assessing the accuracy of high-resolution topographic data generated using freely available packages based on SfM-MVS approach. *Measurement*, 124, 338-350.
- Micheletti, N., Chandler, J. H., & Lane, S. N. (2015). Investigating the geomorphological potential of freely available and accessible structure-from-motion photogrammetry using a smartphone. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(4), 473-486.
- Prosdocimi, M., Burguet, M., Di Prima, S., Sofia, G., Terol, E., Comino, J. R., Cerdà, A., & Tarolli, P. (2017). Rainfall simulation and Structure-from-Motion photogrammetry for the analysis of soil water erosion in Mediterranean vineyards. *Science of the Total Environment*, 574, 204-215.
- Tanskanen, P., Kolev, K., Meier, L., Camposeco, F., Saurer, O., & Pollefeys, M. (2013). Live metric 3D reconstruction on mobile phones. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 65-72.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- Wróżyński, R., Pyszny, K., Sojka, M., Przybyła, C., & Murat-Błażejewska, S. (2017). Ground volume assessment using 'Structure from Motion' photogrammetry with a smartphone and a compact camera. *Open geosciences*, 9(1), 281-294.
- Yang, M. D., Chao, C. F., Huang, K. S., Lu, L. Y., & Chen, Y. P. (2013). Image-based 3D scene reconstruction and exploration in augmented reality. *Automation in Construction*, 33, 48-60.
- Yao, S., AliAkbarpour, H., Seetharaman, G., & Palaniappan, K. (2018). 3D patch-based multi-view stereo for high-resolution imagery. *Geospatial Informatics, Motion Imagery, and Network Analytics VIII 10645*, 146-153.

Türkiye kadastrusunda güncelleme çalışmaları sırasında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri

Alper Arslan^{1*} , Cemal Bıyık² 

¹Aydın Kadastro Müdürlüğü, Kuşadası Kadastro Birimi, Türkmen Mahallesi Kuşadası Ticaret Odası binası, Kuşadası, Aydın, Türkiye.

²Avrasya Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Pelitli Mahallesi, Olimpiyat Bulvarı, No: 35/A, Trabzon, Türkiye.

Öz: Kadastro, bir ülkenin arazi mülkiyetlerinin, haklarının, sorumluluklarının, kısıtlarının belirlenmesi ve kaydedilmesi işlemidir. Kadastral haritalar, bu kadastro işleminin bir sonucu olarak oluşturulan haritalardır ve ülkenin toprak kullanımı, arazi sahipliği, parsellerin boyutları ve konumları gibi bilgileri gösterir. Kadastral haritalar; bir arazi parçasının sahip olduğu sınırları belirleyen ve bu sınırların teknik özelliklerini tanımlayan ölçüm ve haritalama yöntemleri kullanılarak belirlenen mülkiyet sınırlarının teknik özelliklerini ve arazi mülkiyeti ile mülk paylaşımında meydana gelen değişiklikleri göstermesi açısından oldukça önemlidir. Çoğu durumda mevcut kadastral haritalar arazi parsel sınırları hakkında güncel bilgileri içermemektedir. Bu bakımdan hatalardan arındırılmış doğruluk ve hassasiyet payı yüksek sayısal kadastro bilgilerine ihtiyaç duyulur. Fakat kadastro harita bilgilerinin güncellenme çalışmaları sırasında yaşanan bazı teknik problemler süreci zorlaştırmaktadır. Bu çalışma kapsamında kadastro harita bilgilerinin güncellenme çalışmaları bağlamında yaşanan sorunların ortaya konulması amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Kadastro, Parsel, Kadastro güncelleme

Problems encountered during update studies in Turkish cadastre and solution suggestions

Abstract: Cadastre is the process of determining and recording a country's land ownerships, rights, responsibilities and restrictions. Cadastral maps are maps created as a result of this cadastral process and show information such as land use, land ownership, size and location of parcels. Cadastral maps are very important in terms of showing the technical characteristics of property boundaries and changes in land ownership and property division, which are determined using measurement and mapping methods that determine the boundaries of a piece of land and define the technical characteristics of these boundaries. In most cases, existing cadastral maps do not contain up-to-date information about land parcel boundaries. In this respect, digital cadastral information with high accuracy and precision, which is eliminated from the errors, is needed. However, some technical problems experienced during the updating of cadastral map information make the process difficult. Within the scope of this study, it is aimed to reveal the problems experienced in the context of updating cadastral map information.

Keywords: Cadastre, Parcel, Cadastral update

1. Giriş

Mülkiyet hakkı, hukuk düzeninin taşınmaz mallar üzerinde kurulmasına izin verdiği en geniş ve en kapsamlı mutlak egemenlik hakkıdır (Eren, 2012). Kadastro, çağdaş toplumlarda arazi mülkiyetlerinin, haklarının, sorumluluklarının, kısıtlarının belirlenmesi ve kaydedilmesi için kilit bir rol oynamaktadır aynı zamanda bir arazinin var olan sahiplik durumunun tespit edilmesi, kaydedilmesi ve belgelenmesi işlemidir. Bunun yanı sıra kadastro var olan mülkiyet haklarının korunması, güvence altına alınması arazi kullanımı ve arazi değeri dâhil olmak üzere parsel/mülk tabanlı veri toplama işlemleri için bir dizi süreci kapsamaktadır. Kadastro, her bir arazi parselinin mekânsal bütünlüğünü ve benzersiz bir şekilde tanımlanmasını sağlar. Kadastro, arazi haklarını bir tapu siciline kaydederek kullanım hakkının güvenliğini sağlar (Williamson, Enemark, Wallace, & Rajabifard, 2010) ve bireysel arazi parsellerini/mülklerini tanımlayan bir alanda sistematik olarak düzenlenmiş arazi parsellerinin tümü hakkında genel bilgileri içerir (UNECE, 2005).

Williamson (2009) kadastro sistemlerini tarihsel gelişimini 5 farklı aşama olarak ele almıştır. Williamson (2009)'a göre *çizgisel haritalar* dönemi olarak bilinen ilk aşama 1970'li yıllarda başlamıştır. 1980'lerden sonra kadastral sistemler *dijital kadastro veri* tabanları ile temsil edilmeye başlanmıştır. Bilgisayarlaşma olarak adlandırılan bu aşamada, doğrusal veriler yerine dijital veriler ve basılı kopyalar yerine veri tabanları kullanılmıştır. Bu dönüşüm; kadastro, harita ve tapu ayrılığını ortadan kaldıran bir etki yaratmıştır. Bu uygulamalar kadastro verilerinin işlenebilirliğini ve sunumunu çok daha kolay hale getirmiştir. 1990'lı yıllarda internet kullanımının artmasıyla birlikte *arazi yönetim sistemleri* web tabanlı uygulamalar ile yürütülmeye başlanmıştır. Bu aşamada kadastral verilere internet üzerinden erişim mümkün hale gelmiştir. Ayrıca *konumsal veri altyapısı* kavramı ilk kez kullanılmaya başlanılmıştır (Fisher & Whittal, 2020; Yıldırım & Cömert, 2012). *e-Arazi* olarak adlandırılan dördüncü aşama, farklı veri setlerinin birlikte çalışabilirliğinin denendiği aşamadır. Ortaya çıkan bütünleşik sistem, planlama, vergilendirme, imar ve yerel yönetimler gibi birçok farklı alanda politika üretiminin yolunu açmıştır. Son olarak, 2010'dan sonra genel bir *Arazi Bilgi Sistemi* olarak *Information Land (iLand)* kavramı ortaya atılmıştır Buna göre arazi ile ilgili konumsal ve konumsal olmayan bütün bilgi sistemleri bunun altında konumlanan alt kümeler olarak değerlendirilmektedir. iLand, arazi kullanımı, arazi yönetimi ve doğal kaynak yönetimi alanlarında faaliyet gösteren profesyoneller için tasarlanmış bir platformdur. iLand, kullanıcıların coğrafi verileri toplamasına, yönetmesine ve analiz etmesine olanak tanır. Bu platform, kullanıcılara arazi kullanımı planlama, kaynak yönetimi, mülkiyet yönetimi, ormancılık, tarım, madencilik ve enerji endüstrileri gibi birçok alanda karar vermelerine yardımcı olan kapsamlı bir arazi veri yönetim sistemi sunmaktadır (Valls, López, & Villar, 2012; Yıldız & Erden, 2020).

Türkiye'de kadastro, parselleri yazılı ifade yöntemiyle başlatılmıştır. Osmanlı döneminde *tapu tahriri*, *yoklama kayıtları*, *arazi kayıtları* gibi adlarla defterlere yazılan bu kadastro yönteminde sınırlar, parselin komşularının yönlerle tarif edilmesiyle (Hududu: Şarken, Garben, Cenuben, Şimalen); yüzölçümü ise yaklaşık olarak geçerli bir alan ölçü birimi cinsinden yazılmasıyla ifade edilmiştir. Bu yüzden bu yönteme "*cihetlendirme yöntemi*" de denilmiştir.

1912 yılında Konya'da yapılan kadastro planlarıyla süreç daha da hızlanmıştır. Türkiye Cumhuriyeti, Osmanlı İmparatorluğu'ndan devralınan kurumları korumuş ve zaman içinde modern cumhuriyetle uyumlu hale getirmek için yasal düzenlemeler yapmıştır. Kadastro sistemi, toprak politikası ve arazi yönetimi gibi konularda önemli bir gereksinim olarak görülmüştür (Oruç, Yıldırım, Kadioğlu, & Işık, 2021).

Tapu Umum Müdürlüğü'nün kuruluşuyla birlikte 1925 yılında yürürlüğe konulan iki yasa, önemli bir dönüm noktası olmuştur. Bu yasalarla birlikte, kadastro birimleri eklenerek Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nün oluşturulması sağlanmıştır. Bu gelişmeyle birlikte, kadastro çalışmalarında güvenilir bir sistem oluşturma ihtiyacı da vurgulanmıştır.

Kadastro haritaları farklı ölçeklerde üretilerek araziler sınıflandırılmış ve bu sayede daha sistematik bir şekilde ynetilebilmiştir. Bu önemli adımlar, Türkiye'nin tapu ve kadastro alanında modern bir altyapıya kavuşmasında büyük rol oynamıştır (Oruç vd., 2021).

1925 yılında gerçekleştirilen yasal düzenlemeler ile kadastro planlarının artık nirengiye dayalı olarak yapılacağını ve önceki nirengisiz çalışmalara son verileceği belirtilmiştir. Bu düzenlemelerle birlikte, kadastro planlarına sınır güvencesi sağlanmıştır. Ayrıca, Türk Medeni Kanunu'nda taşınmaz malın sınırının plandaki sınıra dayandığı açık bir şekilde ifade edilmiştir. Bu önemli adımlar, tapu ve kadastro sistemini daha güvenilir, şeffaf ve hukuki bir temele oturtarak, mülkiyet haklarının korunmasına ve toplumsal düzenin sağlanmasına katkı sağlamıştır (Yaşayan, Erkan, & Seylam, 2011).

1925 yılından itibaren Ankara, İstanbul, İzmir, Bursa ve Konya'da kadastro çalışmalarına başlanmış ve Harita Genel Müdürlüğü bu çalışmalara destek olmuştur. Bu süreçte çeşitli yasal düzenlemeler yapılmış, kadastro ve tapu tahriri alanında kurumsal düzenlemeler sağlanmıştır. Kadastro ve Tapu Tahriri Kanunu'nun 1934'te yürürlüğe girmesiyle ilkeler ve yönergeler belirlenmiştir. Bu dönemde kadastro çalışmaları daha çok kentsel alanlarda uygulanmış, kırsal alanlarda ise sınırlı çalışmalar yapılmıştır. Ancak 1950 yılında arazi kadastro, geniş kırsal alanlara yönelik olarak uygulamaya konulmuştur (Bıyık & Yavuz, 2006).

Arazi Kadastro, 15 Mart 1950 tarihinde kabul edilen 5602 sayılı Tapulama Yasası ile başlamıştır. Bu yasa, kırsal alanda kadastro uygulamasının şehirlerdeki kadastro aynısı olmaması üzerinde durulmuştur. Yasanın gerekçesinde, kırsal alandaki kadastro çalışmalarının yüzyıllar sürebileceği ifade edilmiş ve bu nedenle "kadastroz bir tapulama" yapılması fikri ne sürülmüştür (Yaşayan vd., 2011).

1959 yılında, yerel nirengi ağlarının oluşturulması ve hesaplı poligon uygulamalarının kullanılmasıyla kadastro çalışmalarında daha güvenilir bir durum elde edilmiştir. Bu gelişmeler, ölçüm ve haritalama süreçlerinde daha hassas ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca, 1955 yılında kurulan Arazi Kadastro ve Fotogrametri Dairesi, kadastro çalışmalarına yeni bir ivme kazandırmıştır. Fotogrametri yöntemi, büyütülmüş hava fotoğrafları üzerine parsel sınırlarının çizilmesiyle başlamış, ancak kadastro planlarına dönüştürülemediği için standart stereo değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, detaylı bir inceleme ve analiz süreci gerektirmiş ve kadastro haritalarının oluşturulmasında önemli bir adım olmuştur. Böylece, kadastro çalışmaları daha verimli bir şekilde yürütülerek, toprak mülkiyeti ve sınırlarının güvence altına alınması sağlanmıştır (Yaşayan vd., 2011).

1963 yılından itibaren kadastro çalışmaları, planlı bir anlayışla Devlet Planlama Teşkilatı bünyesinde bir sektör olarak kabul edilmiştir. Beş yıllık ve yıllık kalkınma planları ve programları çerçevesinde Standart Topografik Kadastral Haritalar retimi sürekli olarak devam etmiştir.

1987 yılında, kentsel ve kırsal alanlardaki kadastro uygulamaları arasındaki farklar kaldırılmıştır. Bu dönemde, ağdaş teknolojik imknlar kullanılarak nitelikli kadastro haritaları üretilmeye başlanmıştır. Çağdaş teknolojiler kapsamında küresel konumlama sistemleri, elektronik takeometreler ve sayısal fotogrametri kullanımı yaygınlaşmıştır.

2000'li yıllarda ayrıca, mekânsal bilgi sistemleri sayesinde kadastro haritalarının yerini kadastro bilgi sistemleri almıştır. Bu alanda TAKBİS (Tapu ve Kadastro Bilgi Sistemi) nemli bir atılım ve başlangıç olarak kabul edilmektedir (URL-1).

2. Kadastro ve Harita Bilgilerinin Güncellenmesinin Önemi

Türkiye'deki kadastro arşivlerinde mevcut paftaların büyük bir kısmının koordinat birliği bulunmamakta ve aynı zamanda eski olduğu için günceli yansıtmamaktadır (Şekil 1). Kadastro ve harita bilgilerinin güncellenmesi, birçok farklı sektörde önemli bir rol oynamaktadır. Güncel ve doğru verilere dayalı olarak planlama, tasarım, yapılandırma ve yönetim kararları alınması gereken birçok iş alanı vardır. Aşağıdaki nedenler, kadastro ve harita bilgilerinin güncellenmesinin neden önemli olduğunu açıklamaktadır (Cloud Publications, 2012; Yomralıoğlu & McLaughlin, 2017):

- **Planlama ve Tasarım:** Doğru ve güncel kadastro ve harita bilgileri, arazi kullanım planlaması, inşaat tasarımı ve alt yapı planlaması gibi birçok işlemin temelidir. Bu verilerin doğru ve güncel olması, gelecekteki işlemlerin doğru bir şekilde yapılmasını sağlar.
- **Mülkiyet Yönetimi:** Kadastro verileri, arazi mülkiyeti hakkında bilgi sağlar. Bu verilerin güncel olması, arazi mülkiyetinin doğru bir şekilde tanımlanmasını ve yönetilmesini sağlar.
- **Alt Yapı Yönetimi:** Kadastro ve harita bilgilerinin güncellenmesi, alt yapı sistemleri için planlama ve yönetimde de büyük önem taşır. Bu veriler, su, gaz, elektrik, kanalizasyon, yol ve diğer altyapı sistemleri için doğru bir şekilde planlama yapılmasını sağlar.
- **Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS):** Coğrafi Bilgi Sistemleri, kadastro ve harita bilgilerini kullanarak birçok farklı işlem yapar. Güncel ve doğru verilere dayalı olarak CBS'ler, planlama, yönetim ve karar verme süreçlerinde çok önemli bir araçtır.
- **Yatırım Kararları:** Kadastro ve harita bilgileri, birçok farklı işletmenin yatırım kararlarını etkiler. Güncel ve doğru verilere dayalı olarak alınan kararlar, işletmelerin daha verimli ve kârlı bir şekilde yönetilmesine yardımcı olur.



Şekil 1: Eski Kadastro Paftası (Ayduran & Uyan, 2022).

Güncellenmemiş kadastro paftaları kullanılarak yapılan işlemler yanıltıcı olabilir ve hukuki problemlere yol açacaktır. Bundan dolayı güncellenmiş kadastro paftaları ise, güvenilir ve doğru bilgileri içereceği için tapu kayıtlarının doğru tutulmasını sağlayacaktır ve hukuki işlemlerin doğru yürütülmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, güncel kadastro bilgileri, arazinin daha iyi yönetilmesine ve planlanmasına da olanak tanıyacaktır. Buradaki doğruluk ölçüsü haritanın veya veri

tabanındaki bilginin gerçeğe ne kadar yakın olduğuyula ilgilidir. Hassasiyet, aynı koşullar altında gerçekleşen ölçümlerin birbirine olan yakınlığını ifade etmektedir. Hata ise, verinin yanlışlığını kapsayan bir kavramdır. Bundan dolayı veri kalitesi; hata, doğruluk ve hassasiyet ile yakından ilgilidir (Dikici, 2011).

Kadastro bilgilerinin güncellenmesi, arazi mülkiyeti ve mülk paylaşımı değişikliklerini zamanında kaydetmek için oldukça önemlidir. Günümüzde mevcut kadastral haritaların güncelliği konusunda ciddi sorunlar yaşanmaktadır, bu da arazi parsel sınırları hakkında doğru ve güncel bilgi sağlanamamasına neden olmaktadır. Bu durum, arazi kullanımı ve planlaması konularında ciddi sorunlar yaratmaktadır. Aynı zamanda, bu güncelleme eksikliği, hukuki işlemlerin doğru yürütülmesini de engelleyebilir. Bu nedenle, kadastral haritaların düzenli olarak güncellenmesi ve arazi parsel sınırları hakkında doğru ve güncel bilgi sağlanması durumunda arazi kullanımı ve planlaması konularında doğru kararlar alınabilir ve hukuki işlemler doğru şekilde yürütülebilir. Yenileme ve güncelleme çalışmalarıyla, kadastro haritalarında mevcut olan hataların giderilmesi ve arazi sınırları hakkında doğru bilgilere erişimin kısa sürede sağlanması amacını taşımaktadır. Bu çalışmalar, zaman içinde arazi özelliklerinde, yapılaşma durumunda veya parsellerin sınırlarında meydana gelen değişikliklerin doğru bir şekilde yansıtılmasını sağlar. Ayrıca, güncel kadastro haritalarının kullanımı, zaman ve kaynak tasarrufu sağlayarak işlemlerin hızlandırılmasına da yardımcı olur (Ali, Tuladhar, & Zevenbergen, 2012; Mahakos & Braunhofer, 2014).

Kadastronun güncellenmesinde kullanılan teknik veriler ve evraklar çeşitlilik göstermektedir. Kullanılan bazı teknik veriler ve evraklar şunlardır:

- Takeometrik ve prizmatik ölçü verileri,
- Kadastro ölçüsü sırasında tutulan ölçü krokileri,
- İlk kadastro esnasında oluşturulan paftalar,
- Tescile esas değişiklik evrakları ve aplikasyon krokileri,
- Mülkiyet Kadastrounun yapıldığı yıl ve daha sonraki yıllara ait hava fotoğrafları,
- Güncel ortofoto görüntüsü,
- Güncel zemin ölçüleridir.

3. Güncelleme Çalışmaları Sırasında Karşılaşılan Başlıca Problemler

2859 sayılı tapulama ve kadastro paftalarının yenilenmesi hakkında kanun uygulamaları ile başlatılan ve daha sonra bu konuda yapılan değişikliklerle sürdürülen kadastrounun yenilenmesi ve güncellenmesi uygulamaları sırasında birçok problemlerle karşılaşmıştır. Bu çalışmalar sırasında en çok karşılaşılan sorunlara aşağıdaki alt başlıklarda değinilmiştir.

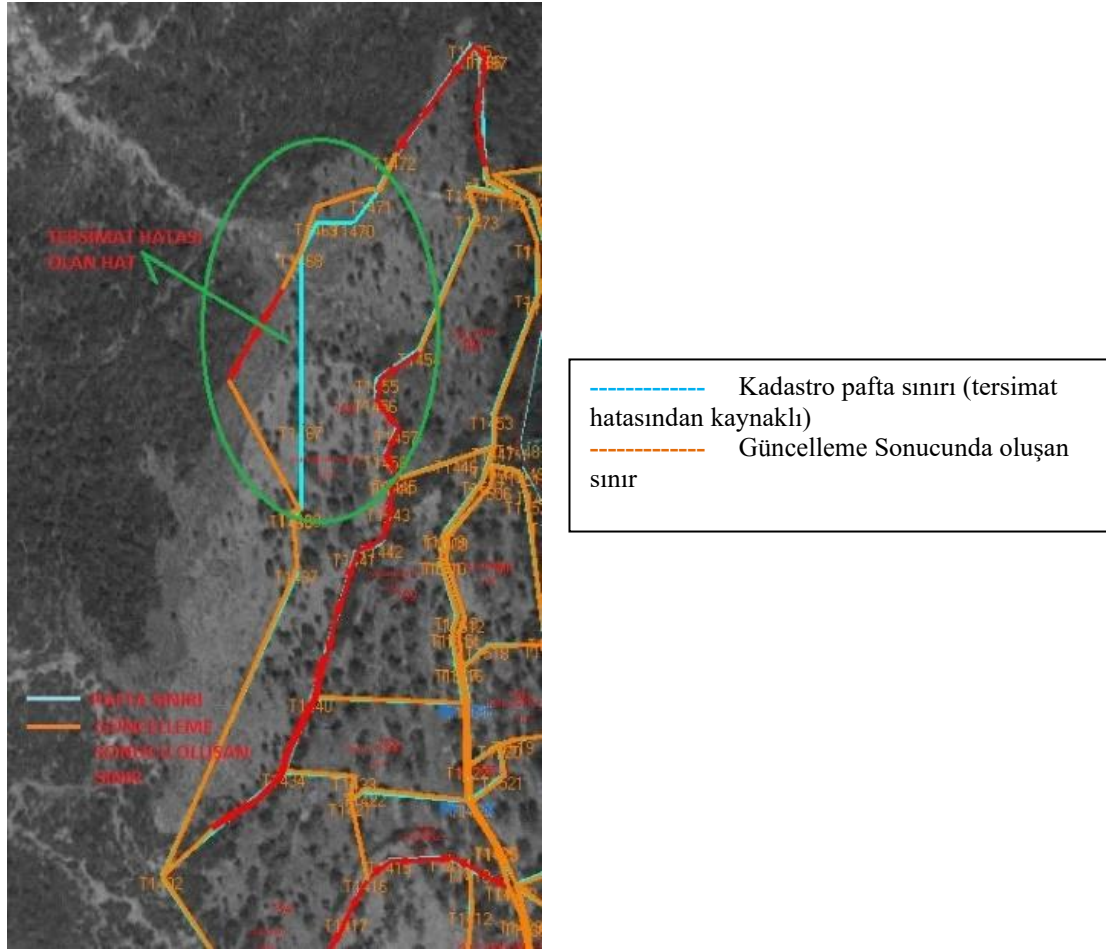
3.1 Yüzölçümü Değişimi

Güncelleme çalışmalarının en büyük sorunu yüz ölçümlerinde meydana gelen azalmalardır. Azalmaların başlıca sebepleri ise şunlardır:

- Parsel köşe noktalarının ilk mülkiyet kadastro sırasında eksik ve hatalı ölçülmesi sebebiyle oluşan alan eksiklikleri,
- Mülkiyet kadastro sırasında ölçülen noktaların yanlış birleştirilerek hatalı parsel sınırlandırmasından ileri gelen (tersimat hatasından kaynaklanan) alan hataları,
- Yüzölçümü hesaplama yöntemi olarak Planimetre veya Thomson yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemler teknik olarak istenilen hassasiyeti yakalamakta yetersiz kalmaktadır ve güncelleme uygulaması sırasında GPS yardımı ile

yapılan yüksek hassasiyetli ölçümlerin sonuçları ile artı ve eksi yönde farklılıklar oluşmaktadır. Artı yönde oluşan farklılıklara hiçbir şekilde itiraz edilmezken, eksi yönde oluşan farklılıkların büyük çoğunluğuna gerek kadastro komisyonu aşamasında gerekse dava açmak suretiyle itirazlar yapılmaktadır.

- İlgili mevzuat gereğince kadastro personeli rücu kararları ile karşı karşıya kalabilmektedir. Bu durum söz konusu personelin rahat, verimli ve sağlıklı çalışmasını engellemektedir. Dolayısıyla güncelleme çalışmaları istenilen amaca ve hizmete tam olarak ulaşamamaktadır.
- Mülkiyet kadastrosu sırasında zeminde bulunan dere ve akarsuların ilk ölçümler sırasında sınır ölçülerinin eksik ve hatalı yapılmış olmasıdır (Şekil 2-4).

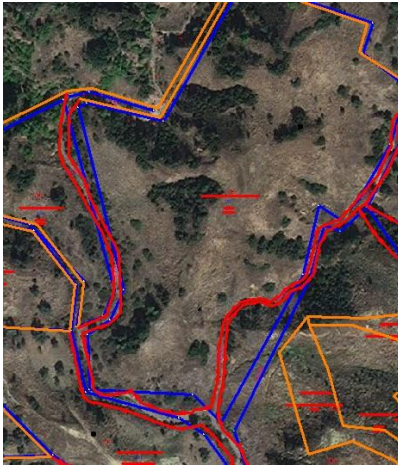


Şekil 2: Eski tarihli hava fotoğrafı üzerine pafta ile uygulama sınırı çakışık görüntü.



----- Kadastro paftasında eksik ölçü sebebi ile hatalı çizilen sınır
 ----- Güncelleme çalışmalarında zeminde mevcut olan dere sınırına göre oluşan sınır

Şekil 3: Eski tarihli hava fotoğrafı üzerine pafta ile güncelleme sınırı çakışık görüntü (dere yatağı).



----- Kadastro paftasında eksik ölçü sebebi ile hatalı çizilen sınır
 ----- Güncelleme çalışmalarında zeminde mevcut olan dere sınırına göre oluşan sınır

Şekil 4: Eski tarihli ortofoto üzerine pafta ile güncelleme sınırı çakışık görüntü (dere yatağı).

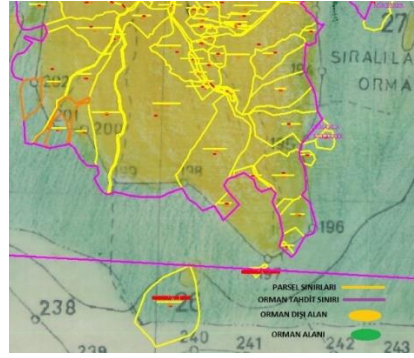
3.2 Orman Tahdit Çalışmaları ile Yaşanan Mükerrerlikler

Orman tahdit çalışmaları sırasında, arazi sınırları ve kullanımı hakkında doğru ve güncel bilgilerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Ancak, bazen bu çalışmalar sırasında mükerrerlikler yaşanabilmektedir. Bu mükerrerliklerin nedenleri şunlar olabilir:

- Farklı ekipler tarafından yapılan tahdit çalışmalarında, aynı alanın birden fazla kez kontrol edilmesi sonucu mükerrer kayıtların yapılması.
- Tahdit çalışmalarında kullanılan araçların teknolojik yetersizliği veya arazi koşullarının zorluğu gibi sebeplerle yanlış ölçümlerin yapılması.
- Tahdit çalışmalarının yapıldığı alanın sınırının belirsiz olması veya arazinin karmaşık yapıda olması nedeniyle, sınır çizimi ve arazi kullanımı hakkında yanlış bilgilerin elde edilmesi.

Bu mükerrerlikler, orman kaynaklarının doğru bir şekilde yönetilmesini engeller ve hukuki sorunlara neden olabilir. Ayrıca, bu mükerrerlikler, ormanların korunması ve sürdürülebilir kullanımı konularında doğru kararlar alınmasını da zorlaştırabilir. Bu nedenle, tahdit çalışmalarının doğru ve güvenilir bir şekilde yapılması, mükerrerliklerin en aza indirilmesi ve orman

kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesi için önemlidir (Şekil 5).



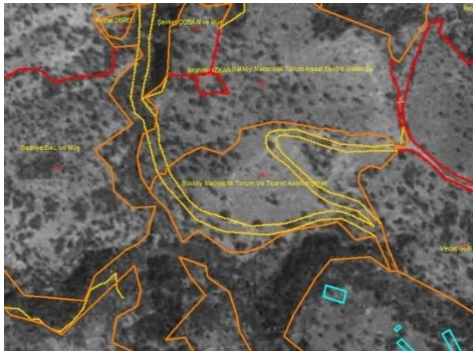
Şekil 5: Orman tahdit haritası ile güncelleme çalışması çakışık görüntü.

3.3 Kadastrodan Sonra Açılan Yollar

Kadastro çalışmaları, arazi sınırlarını belirleyerek, arazi kullanımı hakkında doğru ve güncel bilgilerin elde edilmesini amaçlar. Ancak, mülkiyet kadastrolarından sonra açılan yollar, arazi kullanımı ve sınırlarında bazı sorunlara neden olabilir. Bu sorunlar şunlar olabilir:

- **Parsel sınırlarının değişmesi:** Yol inşaatı sırasında arazide yapılan değişiklikler, parsellerin sınırlarının belirlenmesinde sorunlara neden olabilir.
- **Alan kaybı:** Yol yapımı sırasında arazinin bazı bölümleri kullanılamaz hale gelebilir, bu da arazi sahiplerinin alan kaybına neden olabilir.
- **Ulaşım sorunları:** Yol inşaatı, bazı parsellerin ulaşımını engelleyebilir veya zorlaştırabilir. Bu durum, arazi sahiplerinin arazilerine erişimini kısıtlayabilir.
- **Maliyet artışı:** Yol yapımı, arazi sahipleri için maliyetli olabilir. Yol inşaatı için gerekli malzemelerin ve işçiliğin maliyeti, arazi sahipleri tarafından karşılanmak zorunda kalabilir.

2018-13 güncelleme genelgesi gereğince bazı yolların açılmaması (çıkamaz yol, muvafakat alınamayan yollar ve kamunun kullanmadığı yol vb.) sebebi ile vatandaşlar güncelleme çalışmalarına sıcak bakmamaktadır (Şekil 6 ve 7).



----- Kadastro çalışmasının yapıldığı yıllarda açık olmayan ve sonrasında açılan yol hattı

Şekil 6: Mülkiyet Kadastrounun yapıldığı yıla ait hava fotoğrafı üzerinde açılan yolun görünümü.

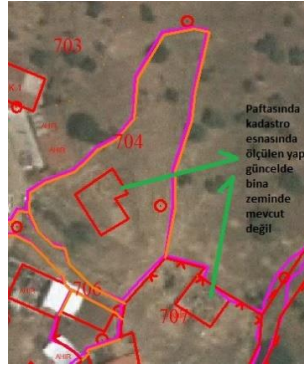


----- Kadastro çalışmasının yapıldığı yıllarda açık olmayan ve sonrasında açılan yol hattı

Şekil 7: Güncel ortofoto üzerinde zeminde açılan yolun görünümü.

3.4 Parsel Cinsinin Değiştirilmesi

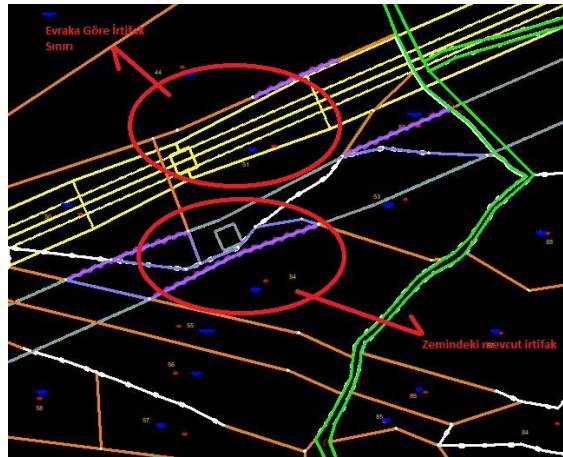
Güncelleme çalışmaları sırasında tesis kadastro esnasında parsel içerisinde ölçülmüş yapıların yıkılması veya değiştirilmesi sebebi ile güncelleme mevzuatı gereğince cinsi iptal edilir, bu sebeple de parsel malikleri iptal edilen cinsi hususunda itiraz etmektedirler (Şekil 8).



Şekil 8: Güncel ortofoto üzerinde zeminde mevcut olmayan binaları gösterir fotoğraf.

3.5 Kamulaştırma Haritaları

Kamulaştırma planlarının hatalı olan kadastro verileri ile hazırlanması durumunda eksik/fazla kamulaştırma veya hatalı parsellerden kamulaştırma yapılması, zemindeki durumun plana uymayarak farklılık göstermesi durumunda yapılan kamulaştırma ödemelerinden dolayı problem yaşanabilmektedir (Şekil 9).



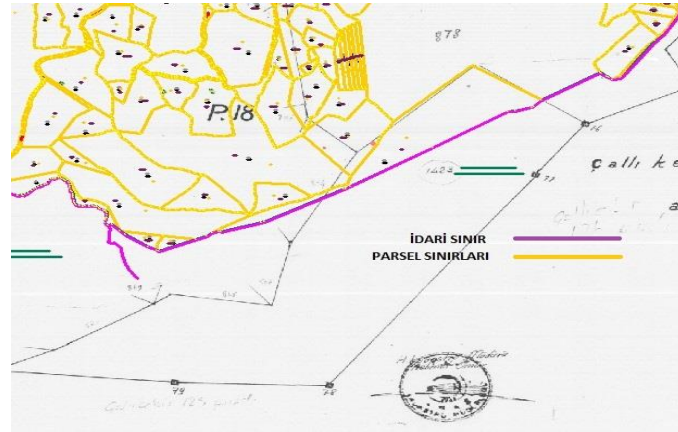
Şekil 9: Zemin ve kamulaştırma evrakı üzerindeki irtifak sınırını gösterir fotoğraf.

3.6 İmar Kanununun 18. Maddesinin Uygulanmasından Kaynaklanan Sorunlar

İmar uygulamalarının yapılması sırasında altlık olarak kullanılan kadastral verilerdeki teknik hatalar nedeni ile 18. madde uygulamalarında da hataların oluşması ve özellikle de oluşan bu imar parsellerinde yüzölçümü hataları ile karşılaşılmaktadır. İlgili mevzuat gereği söz konusu 18. madde uygulamalarının ilgili belediyeler tarafından Güncelleme çalışmaları sırasında düzeltilmesinin pratikte mümkün olmaması sebebi ile yaşanan sorunlardır.

3.7 İdari Taksimattan Kaynaklı Sorunlar

Mülkiyet kadastrosundan sonra idari taksimatta değişiklik yapılan mahallelere ait sınırlandırma ve köy ayırımına dair evraklara ulaşılmamasında yaşanan sorunlardır. Büyükşehirlerde İl Özel İdarelerinin kapanması sebebiyle belgelerin İl Özel İdarelerinde bulunamaması ve bu evrakların kaybolması halinde ilgili kurumlara aktarılamamasından dolayı belediyelerde bu evraklara ulaşılamaması söz konusu olabilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10: Eski idari sınırlar ile parselleri gösterir harita.

3.8 İşin Süresi ve Harita ve Kadastro Teknikerinin Eksikliği

Güncelleme çalışmalarının neredeyse tamamı ihaleli olarak yapılmaktadır. İhale sürelerinin kısa olması ve üretilen verilerin değerlendirmesini yapacak kadastro personellerinin yetersizliği sebebiyle çok sayıda parsel değerlendirmesinde hata oranı artmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Çağdaş bir kadastro sisteminden beklenenlerin karşılanması, her şeyden önce tüm jeo-uzamsal verilerin periyodik olarak güncellenmesi ile mümkündür. Bununla birlikte, kadastral parsel haritalama, özel güncelleme gereksinimlerine sahiptir. Yeni parsellerin bitişik parsellerle hizalanması gerekmektedir. Bu, zaman içinde doğruluğunu sistematik olarak iyileştirmek için tercihen bir uzamsal ayarlama yaklaşımıyla gerçekleştirilmelidir. Daha iyi koordinat konumlandırma ve araştırma planı boyutları ile kadastral haritalamanın doğruluğunu artırmak için araştırma ağlarının analizi ve ayarlanmasına yönelik yöntemler mevcuttur.

Bu çalışma kapsamında güncelleme çalışmaları sırasında karşılaşılan problemlerden bazıları ortaya konulmuştur. Halen ülkemizde devam etmekte olan 3402 sayılı Kadastro Kanununun 22-a maddesi gereğince yapılan güncelleme ve yenileme çalışmalarının istenilen ve hedeflenen amaçlara (hataların giderilmesi, parselasyon çalışmaları, kadastro verilerinin güncellenmesi, veri entegrasyonu, kaynak tasarrufu) ulaştığını söylemek ne yazık ki mümkün değildir. Her ne kadar bu çalışmalar ile zemindeki gerçek koordinatları ve taşınmazların gerçek alanları ile pafta zemin uyumu amaçlanmış olsa da ne yazık ki çalışmada anlatılan sebepler ve sorunlar nedeniyle mevcut kadastronun beklenen amaca yetmediği söylenebilir.

Kadastro mevzuatının her geçen gün yeni eklemelerle değiştirilmesi sorunları çözmemiştir. Hedeflenen amaçlara ulaşılabilmesi için mevcut kadastr haritaları da esas alınarak arazi ve parsellerin yeni teknolojilerle yeniden ölçülmesi; böylece kadastrodan sonra yapılan değişiklikleri de kapsayan arazi nesnesi esaslı (çok amaçlı) yeni ve güncel bir kadastro yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu kadastro bütün ülke sathını kapsayacak biçimde (geniş kapsamlı) planlanmalı ve sahipli-sahipsiz bütün arazileri içine almalıdır. Kadastro bittikten sonra yapılacak teknik ve hukuki değişikliklerin pafta ve kütüklere yansıtılması da zorunlu kılınmalıdır.

Ülkemiz kadastro için son derece önemli olan bir adım, mevcut kadastroların güncellenmesi ve yenilenmesi için bir İkinci Kadastro projesi yürütmektir. Bu projenin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için öncelikle yeni bir mevzuat çalışması yapılması ve bu çalışmaların ikinci bir kadastroya altlık oluşturacak şekilde geniş kapsamlı ve çok amaçlı olması gerekmektedir. Bu sayede, ülkemizdeki kadastro kayıtlarının daha doğru ve güncel olması sağlanabilir. Bu da arazi kullanımı planlaması, yatırım kararları, vergilendirme gibi birçok alanda doğru ve güncel veri sağlamak açısından son derece önemlidir.

Yazar Katkısı

Alper Arslan: Fikir, Literatür taraması, Veri toplama, Analiz ve yorumlama, Yazım. **Cemal Bıyık:** Tasarım, Literatür taraması, Makale değerlendirme, Denetleme.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Ali, Z., Tuladhar, A., & Zevenbergen, J. (2012). An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 386-398.
- Ayduran, E., & Uyan, M. (2022). Kadastro Güncelleme Çalışmalarında Yaşanılan Sorunlar, Eksiklikler ve Giderilmesinde Alternatif Öneriler. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 4(1), 12-17.
- Bıyık, C. & Yavuz, A. (2006). Land Registration and Cadastre in Turkey From The Ottomans To Date. *Journal of Applied Sciences*, 6(6), 1415-1425.
- Cloud Publications (2012). *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*. Cloud Publications.
- Dikici, M. (2011). Kadastro Harita ve Bilgilerinin Güncellenmesi İhtiyacı ve Karşılaşılan Teknik Sorunlar. *MMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. Ankara.
- Eren, F. (2012). *Mülkiyet Hukuku*. Ankara: Yetkin Yayınları.
- Fisher, R., & Whittal, J. (2020). *Cadastre: Principles and Practice*. Creda Communications.
- Mahakos, I., & Braunhofer, M. (2014). *Land Use and Land Cover Mapping in Europe: Practices & Trends*. Springer.
- Oruç, H., Yıldırım, M., Kadioğlu, S., & Işık, S. (2021). *Türkiye Kadastrounun Tarihi, Kadastro Tarihinin Kaynakları*. Ankara: Kaynak Yayınları.
- UNECE, (2005). Land Administration in the UNECE Region: Development trends and main principles. *United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), published by the Thechnical Chamber of Greece*. Atina.
- Valls, M. G., López, I. R., & Villar, L. F. (2012). iLAND: An enhanced middleware for real-time reconfiguration of service oriented distributed real-time systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(1), 228-236.
- Williamson, I. (2009). Re-Engineering the Cadastre to Support e-Government. *Re-Engineering the Cadastre to Support E-Government*.
- Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., & Rajabifard, A. (2010). *Land administration for sustainable development* (s. 487). Redlands,

CA, USA: ESRI Press Academic.

Yaşayan, A., Erkan, H., & Seylam, S. G. (2011). Kadastro Kavramı ve Türkiye Kadastrosu. *MMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. Ankara.

Yildiz, O., & Erden, Ç. (2020). Cadastral Updating: the Case of Turkey. *Survey Review*, 53 (379), 335-348.

Yıldırım, M. E., & Cömert, Ç. (2012). Portal Teknolojisi ve Ulusal Konumsal Veri Altyapısı. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 104(2), 14-20.

Yomralioglu, T., & McLaughlin, J. (2017). *Cadastrre: geo-information innovations in land administration*. Cham, Switzerland: Springer.

URL-1: Tapu ve Kadastro Bilgi Sistemi (TAKBİS). <https://www.tkgm.gov.tr/projeler/tapu-ve-kadastro-bilgi-sistemi-takbis>, (Erişim Tarihi: 5 Haziran 2023).

Türkiye’de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal ve mekânsal analizi

Yasin Demirel¹ , Tarık Türk^{1*} 

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye.

Öz: Dünyada orman yangınlarının can ve mal kaybına neden olan sosyal, ekonomik ve ekolojik olmak üzere maddi ve manevi birçok sonuçları vardır. Son yıllarda dünya genelinde orman yangınlarında hem sıklık hem de büyüklük açısından önemli bir artış gözlemlenmektedir. Bu nedenle ekolojik düzenin istikrarlı bir şekilde devam etmesi için orman yangınlarının analiz edilmesi ve buna karşı gerekli tedbirlerin alınması son derece önemlidir. Bu bağlamda orman yangınlarının zaman içerisindeki mekânsal dağılımının modellenmesi ve risk faktörü oluşturan bölgelerin incelenmesi kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada Türkiye’de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının il sınırı seviyesinde mekânsal ve zamansal dağılımı yangının coğrafi konum ve çıkış nedeni arasındaki ilişki dikkate alınarak Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında analiz edilmiş ve mekânsal istatistiksel testler (Global Moran’s I, Anselin Local Moran’s I ve Getis-Ord Gi*) kullanılarak yıl bazındaki kümelenmeler ortaya konmuştur. Böylece orman yangınlarına yönelik alınması gereken önlemler ve karar vericilere sağlanacak destekler konularında önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Orman yangını, Kümeleme analizi, Mekânsal istatistikler, Mekânsal-zamansal analiz, Coğrafi bilgi sistemi

Spatiotemporal analysis of forest fires occurring in Türkiye between 2015 and 2022 with geographical information systems

Abstract: Forest fires in the world have many material and moral consequences, including social, economic and ecological, which cause loss of life and property. In recent years, a significant increase has been observed in forest fires worldwide in terms of both frequency and size. For this reason, it is extremely important to analyze forest fires and take the necessary measures against it in order to maintain the ecological order in a stable manner. In this context, modeling the spatial distribution of forest fires over time and examining the risk factors are critical. In this study, the spatial and temporal distribution of forest fires that occurred between 2015 and 2022 in Türkiye at the provincial border level was analyzed in the Geographical Information System environment, taking into account the relationship between the geographical location and the cause of the fire, and clusters on a yearly basis were revealed by using spatial statistical tests (Global Moran’s I, Anselin Local Moran’s I ve Getis-Ord Gi*). Thus, important results have been obtained in terms of measures to be taken against forest fires and the support to be provided to decision makers.

Keywords: Forest fire, Cluster Analysis, Spatial statistics, Spatiotemporal analysis, Geographical information system

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 346 219 1010 / 2438

Geliş Tarihi/Received: 08.06.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 20.07.2023



0000-0002-5582-984X, ysndmrl58@gmail.com (Demirel Y.)
0000-0002-2671-7590, tturk@cumhuriyet.edu.tr (Türk T.)*

1. Giriş

Ormanlar dünyanın karasal alanlarının üçte birini kapsamaktadır. Doğal dengenin sağlanması, ekosistem faaliyetlerinin sürdürülebilirliği, su kaynaklarının düzenlenmesi ve besin döngüsü gibi faktörler sebebiyle orman alanları tüm canlılar için hayati öneme sahiptir (Kavzoğlu, 2021; Knopp, Wieland, Rättich, & Martinis, 2020; Şeker, 2021). Ayrıca biyoçeşitlilik ve iklim açısından, sera gazı etkisine karşı karbon depolama işlevleri, sel ve erozyon tehlikelerine karşı set oluşturmalarındaki rolleri nedeniyle ormanlar dünyamız için en önemli varlıklardan birisidir (Şeker, 2021; Zhang vd., 2021). Bu eşsiz varlıkları yok eden orman yangınları, orman meşcerelerinin azalmasına yol açarlar, orman sağlığını ve biyolojik çeşitliliği bozarlar ve küresel karbon miktarı üzerinde etkileri olan aerosoller ve diğer sera gazlarını yayarlar (Knopp vd., 2020).

Orman yangınlarının kolay bir şekilde başlamasının ve hızlıca yayılmasının en önemli nedeni küresel ölçekte iklim değişikliği ve onun neticesinde küresel ısınma olarak gösterilebilir. Özellikle son yüzyılda tarım, sanayi, hayvancılık, lojistik gibi faaliyetler esnasında ortaya çıkan sera gazları iklim değişikliğinin temel nedeni olmuştur. Yazları sıcak ve kurak olan Akdeniz iklimi yangın riskini artırmakta, çıkan yangınların geniş alanlarda ve uzun süreli olmasına neden olmaktadır (Kavzoğlu, 2021; Şeker, 2021). Ülkemiz ve dünyamız son yıllarda ihmal, kaza, kasıt gibi faktörlerin de sebep olduğu birçok orman yangınına maruz kalmıştır (Kavzoğlu, 2021). Türkiye'nin yaklaşık 23 milyon hektar alanı ormanlarla kaplıdır. Ülkemizde büyük yangın olarak nitelendirilen 500 hektar ve üzeri yangınların son on yıldaki toplamı 25 adet iken, ülkemiz sadece 2021 yılında 16 adet büyük yangına maruz kalmıştır. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nde (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) sanayi öncesi dönemden bu yana 1.2 °C artış gösteren küresel sıcaklığın artan sayıda kuraklık ve orman yangınına sebep olduğu ortaya konulmuştur (Kavzoğlu, 2021; Knopp vd., 2020). Kritik ve küresel bir olay olan orman yangınları, iklim değişikliğinin de etkisiyle şiddetlenmekte ve her yıl çok fazla ekonomik ve çevresel hasara neden olan bir felaket haline dönüşmektedir (Zhang vd., 2021).

Türkiye'de ihmal, kaza, doğal nedenler ve kasıt gibi faktörler orman yangınlarına sebep olmakta ve birçok orman yangınının nedeni ise bilinmemektedir. Yangınların mekânsal olarak incelenmesinde ve yangının çıkış nedeni ile çıkış konumu arasındaki ilişkinin ortaya konmasında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) oldukça önemlidir. Bununla birlikte yangınların hangi bölgede kümelendiğinin mekânsal istatistiklerle analiz edilmesi ilgili bölgelerde gerekli tedbirlerin alınmasına yardımcı olabilecek niteliktedir. Böylece ülkemiz ve dünyamız için hayati öneme sahip ormanlık alanların korunmasına yönelik hızlı, etkin ve verimli tedbirler alınabilecektir.

Literatürde, dünyanın doğal dengesinin sağlanması ve ekosistem faaliyetlerinin sürdürülebilirliği bakımından hayati öneme sahip orman yangınlarına ilişkin özellikle son yıllarda birçok farklı çalışma yapılmıştır. Kavzoğlu, Çölkesen, Tonbul ve Öztürk (2021) Manavgat, Marmaris ve Bodrum'da 2021 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında yaşanan orman yangınlarının uzaktan algılama teknikleri kullanılarak çok zamanlı uydu görüntüleriyle analiz edilmesini ve hasar gören alanlara ait sınırların tespit edilmesini amaçlamıştır. Musaoğlu, Yanalak, Güngöroğlu, ve Özcan (2021) tarafından orman yangınlarına hazırlıklı olmada doğru bilgi üretimi ve güncel bilginin önemi vurgulanmıştır. Bu bağlamda, güncel verilerle yangından etkilenebilirliğin belirlenmesinde ve risk analizinin yapılmasında uzaktan algılama verileri ve CBS'nin öneminden bahsetmişlerdir. Knopp vd. (2020) tarafından yanmış ormanlık alanların rehabilitesinde kullanılmak üzere Sentinel 2 uydu görüntülerinin NIR ve SWIR bantları kullanılarak oluşturulan veri seti ile derin öğrenme çerçevesinde yanmış alanların segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. Dabanlı (2021) tarafından orman yangınlarının iklim değişikliği ile ilişkisi üzerinde durulmuştur. Mısır, M. ve Mısır, N. (2021) tarafından ise yangına hassasiyeti olan bölgelerde yangın risklerinin yangın indeksleri kullanılarak önceden belirlenmesine, meydana gelecek yangınların önlenmesine ve oluşacak zararların azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

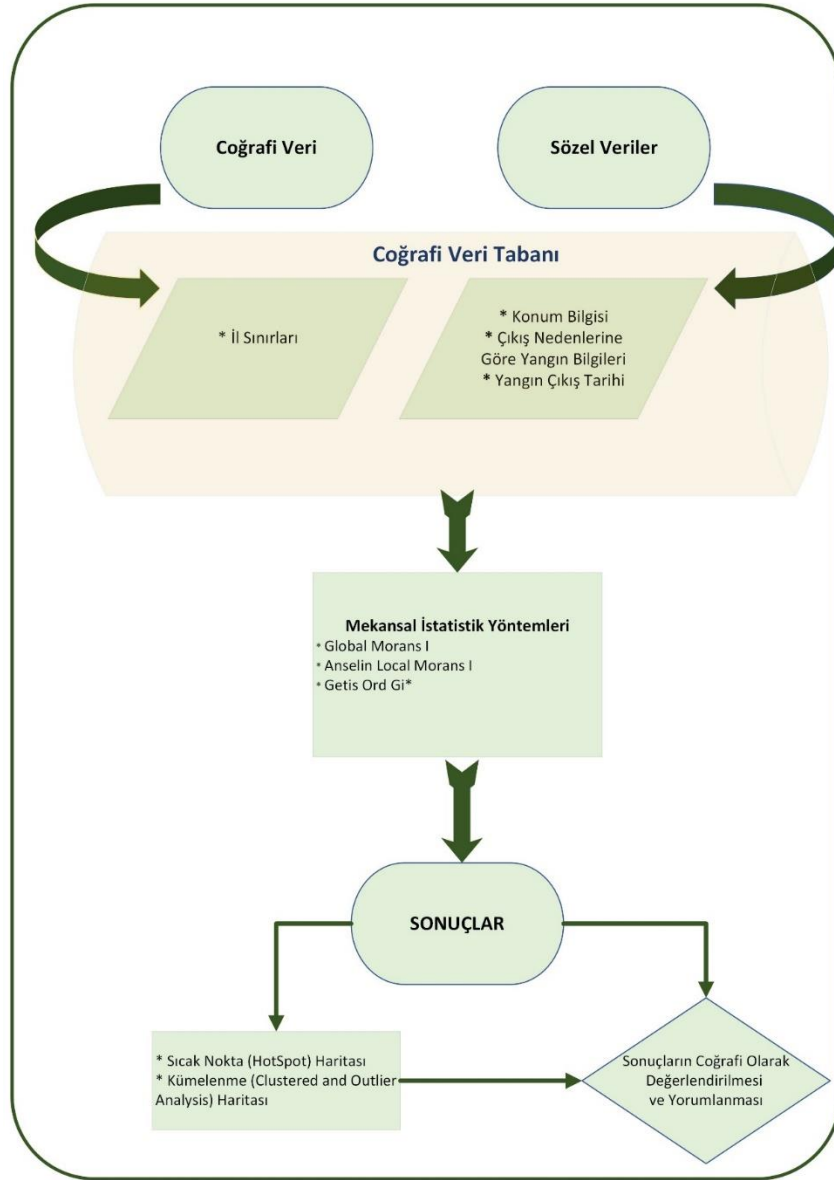
Ayrıca literatür incelendiğinde mekânsal istatistik çalışmaları kullanılarak CBS tabanlı birçok farklı analizin gerçekleştirildiği görülmektedir (Doğru vd., 2017; Güneşli & Ahmed, 2023; İslam vd., 2021; Rossi & Becker, 2019; Şener & Türk, 2021, 2023). İslam vd. (2021), Covid-19 vakalarının Bangladeş'te nasıl kümelendiğini ve zamansal olarak küme modellerini CBS ile tahmin etmek amacıyla mekânsal otokorelasyon, sıcak nokta, ters mesafe ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting, IDW), coğrafi ağırlıklı regresyon (Geographically Weighted Regression, GWR), Moran's I ve Getis-Ord G_i^* istatistiklerini kullanmışlardır. Doğru vd. (2017) Türkiye'de farklı yaş grubundaki çocuklarda meydana gelen Hepatit A hastalığının dağılımını CBS ve mekânsal istatistiksel yöntemlerle incelemişlerdir. Şener ve Türk (2021), Türkiye'de 2009-2018 yılları arasında il düzeyinde meydana gelen kardiyovasküler hastalık mortalitesinin mekânsal ve zamansal olarak ortaya konulabilmesi amacıyla Global Moran's I, Getis-Ord General G, Anselin Local Moran's I ve Getis-Ord G_i^* gibi mekânsal istatistiksel yöntemleri ve CBS'yi kullanarak analiz etmişlerdir. Güneşli ve Ahmed (2023), Anadolu levhası boyunca deformasyon yönlü dağılımı tespit etmek için iki strateji kullanmışlardır. İlk olarak CBS tabanlı mekânsal istatistik analiz yöntemiyle önemli sıcak ve soğuk nokta kümeleri yardımıyla aktif sismik alanları belirlemişlerdir. İkinci olarak Python programlama dilini kullanarak deformasyon dağılımını hesaplamışlardır. Gelişmiş geoistatistiksel araçlar ile çalışma alanı içerisindeki anormal sismik tehlike bölgelerinin varlığını ve üç boyutlu deformasyon yönünü ortaya koymuşlardır. Tedim vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, Güney ve Güneydoğu Avrupa'da orman yangınlarının nedenleri Likert ölçeğinin kullanımıyla istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Rossi ve Becker (2019) tarafından, uzaktan algılama ve CBS kullanılarak sıcak nokta analizi (Getis-Ord G_i^*) ile orman yönetim birimleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Fu, Jiang, Zhou ve Zhao (2014), orman ekosistemiyle ilgili karbon miktarı gibi çevresel değişkenlerin mekânsal örüntülerini incelemek amacıyla CBS ortamında Moran's I ve geoistatistik araçlarını kullanmışlardır. Akyürek (2023), MODIS platformunun 2000 ile 2021 yılları arasındaki Terra ve Aqua uydularından elde edilen veri setini kullanarak Türkiye' de ormanlık ve otlak alanlarda meydana gelen bitki örtüsü yangınlarını mekânsal istatistiksel yöntemlerle analiz ederek haritalarını üretmiştir. Bölgedeki araziler Corine verisine göre ormanlık ve otlak alan olarak sınıflandırılmıştır. Toplam yangın verileri değerlendirilirken 2000-2005, 2006-2011, 2012-2017 ve 2018-2021 aralığında periyotlara ayrılarak kümelenecekler analiz edilmiştir. 21 yıllık süreç sonunda ormanlık alan yangınlarından en çok etkilenen bölgelerin Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri, ormanlık alanlardan en çok etkilenen ilin Antalya, otlak alan yangınlarından en çok etkilenen ilin ise Şanlıurfa olduğu belirlenmiştir.

Karabacak, Türkşen ve Bayar (2019) tarafından yapılan çalışmada, CBS yazılımı ile mekânsal istatistiksel analizler (Mekânsal Nokta Örüntü Analizleri, Mekânsal Betimsel İstatistik, Mekânsal Otokorelasyon Analizleri) yardımıyla Antalya'da meydana gelen orman yangınlarının incelenmesi ve orman yangını risk bölgelerinin oluşturularak derecelendirilmesi amaçlanmıştır. 2013 yılına ait 321 ve 2018 yılına ait 242 yangın verisi CBS yazılımına aktarılmış, yangın çıkış noktalarının konumlarına bağlı Mekânsal İstatistik modülü aracılığıyla betimleyici istatistikler (merkezi eğilimin ölçülmesi, dağılımın ölçülmesi) hesaplanarak, mekânsal desen analizi (kuadrat analizi, en yakın komşuluk analizi) ve mekânsal otokorelasyon (global mekânsal otokorelasyon, yerel mekânsal otokorelasyon) yöntemleri ile veriler hem konum hem de özniteliklerine göre değerlendirilmiştir. Kuadrat analizi sonucu bir risk bölgesi elde edilmiştir. Mekânsal otokorelasyon sonuçlarına göre sıcaklık, bağıl nem ve rüzgâr hızının en yüksek kümelenecek gösterdiği alanlar da ayrı bir risk bölgesi oluşturmuştur. Bu iki istatistiksel risk alanının çakıştırılması ile elde edilen sonuç; Antalya ilinde yerel olarak orman yangını riski taşıyan bölgeleri ortaya çıkarmıştır.

Gayır ve Arslan (2018) tarafından Muğla bölgesinde 2011 ile 2015 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarında sadece konumların kullanıldığı nokta örüntü analizleri- kuadrat analizi, Ripley's k fonksiyonu testi, ortalama en yakın komşuluk analizi ile kümelenecekler araştırılmıştır. Getis-Ord G_i^* , Moran I ve Anselin Local Moran I ile yangınların rüzgâr ve sıcaklık ölçütleri dikkate alınarak kümelenecekler ortaya konulmuştur.

3. Yöntem

Bu çalışmada il sınırlarını gösteren coğrafi veriler ile birlikte Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından sağlanan 2015 ile 2022 yılları arasında Türkiye genelinde meydana gelen orman yangını verileri kullanılmıştır. Orman yangını verileri yıllara göre, il bazında ve çıkış nedenine göre ESRI ArcGIS 10.6.1 yazılımı ile analiz edilmiş ve mekânsal istatistiksel analizler yardımıyla kümelenmeler ortaya konulmuştur. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından sağlanan veriler incelendiğinde meydana gelen orman yangınlarının genel olarak doğal nedenler, kasıt, ihmal ve dikkatsizlik, kaza ve nedeni bilinmeyen şekilde sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada izlenen iş adımları Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2: Çalışmada izlenen işlem adımları

3.1 Mekânsal-Zamansal İstatistik

Değişkenler arası konumsal ilişkileri değerlendirmek için konumsal örüntü kavramını temel almak son derece önemlidir. Kümelenmiş alanların analizi ve değerlendirilmesi, yangın çıkış nedenlerinin mekânsal modelini ve zaman içindeki değişimini incelemek için bir kılavuздur. Mekânsal otokorelasyon yöntemi, belirli bir konumdaki veri noktasının komşu konumlarda kullanılan veriler ile bağımlılığını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Mekânsal otokorelasyon pozitif veya negatif değerde olabilir. Pozitif değerler kümelenmenin varlığını, yani komşu bölgelerdeki konumların birbirini etkilediğini

gösterirken negatif değerler komşu konumlardaki detayların ters olarak birbirini etkilediğini yani dağıldığını ifade etmektedir (Akyürek, 2023). Bu doğrultuda yapılan çalışmada CBS tabanlı mekânsal otokorelasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Yangın çıkış nedenlerinin genel mekânsal dağılımının kümelenme, saçılma ve rastgelelik durumlarının belirlenmesi için Global Moran's I istatistik analizi, kümelerin hangi coğrafi konuma göre dağıldığını belirlemek için Anselin Local Moran's I istatistik testi, kümelerin güven düzeyini belirlemek için ise Getis-Ord G_i^* istatistik testi kullanılmıştır. Ayrıca, 2015 ile 2022 yılları arasındaki sekiz yıllık periyot için ülke genelinde meydana gelen orman yangınlarının çıkış nedenlerine göre dağılımı da incelenerek çıkış nedenleri ile yangınlar arasında bir bağlantı kurulmuştur. Aşağıda, çalışma kapsamında kullanılan analizlere ilişkin açıklamalar sunulmuştur.

Global Moran I: Global Moran's I analizi, veri seti olarak kullanılan genel mekânsal otokorelasyonu ölçer ve veri noktaları arasındaki örüntüleri tanımlamaya yardımcı olur. Analizin neticesinde belirli bir nokta örüntüsü için mekânsal otokorelasyon veya dağılımın derecesi belirlenmektedir. Bu doğrultuda yöntem yangın çıkış nedenlerinin konumsal dağılım modeli (kümeleme, rastgele ve dağınıklık) hakkında bilgi elde etmek amacıyla kullanılmıştır (Eşitlik 1 ve 2).

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} Z_i Z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (1)$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \quad (2)$$

n toplam detay sayısını, Z_i i 'inci özneteliğin ortalama değerinden olan sapmayı, $W_{i,j}$ i ve j 'inci değerler arasındaki konumsal ağırlığı ve S_0 tüm ağırlık değerlerinin toplamını temsil etmektedir. Moran yönteminde I indeks, Z skoru ve p değerleri hesaplanır. Moran's I değeri -1 ile +1 arasında değişir ve pozitif/ negatif otokorelasyona işaret eder. Sıfır değeri ise mekânsal otokorelasyon olmadığını göstermektedir (Islam vd., 2021). Konumsal otokorelasyon analizinde Z skoru ve p değeri sıfır hipotezinin mekânsal rastgele modelini reddetme olasılığını belirlemek için kullanılır. 2.58'den büyük çıkan Z skoru ve 0.01 değerinden küçük çıkan p değeri %99 güven düzeyinde sıfır hipotezinin reddedildiğini ve verilerin kümelendiğini göstermektedir (Akyürek, 2023).

Anselin Local Morans I: Moran's I yöntemi genel ölçekli olup veri setinin genel dağılımının konumsal bağımlılık düzeyini ölçmek için kullanılmaktadır. Anselin Local Moran's I yöntemi değişkenlerin birbirine benzeyip benzemediğini belirlemek için kullanılan yerel bir kümelenme analizi (cluster and outlier analysis) yöntemidir. Local Moran's I işleminden elde edilen sonuçlar, atanan sınıfının çözüm alanı içindeki her gözlemin konumunu görüntüleyen bir Moran dağılım grafiğinde görselleştirilir. Dağılım grafiği içinde, yerel Moran's I değeri, her kategorinin iki boyutlu çözüm uzayı içindeki i . gözleminin göreceli konumunu tanımlar. Tüm Moran's I değerlerinin belirli bir güven düzeyi içerisinde uzamsal ilişkinin anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla her nokta için bir anlamlılık testi yapılmaktadır. Pozitif bir değer alan Local Moran's I değeri, komşu noktalar ile benzer şekilde yüksek veya düşük değerlere sahip olan konumu ifade etmektedir. Bu konum uzamsal küme olarak da adlandırılır. Öte yandan, negatif bir Local Moran's I değeri, çevresindeki konumların değerlerinden farklı olan potansiyel bir uzamsal aykırı değeri göstermektedir. Analiz sonucunda elde edilen Z skoru değeri istatistiksel anlamlılık hakkında bilgi vermektedir (Akyürek, 2023; Anselin, 1995; Bone, Wulder, White, Robertson, & Nelson, 2013; Yakar, 2011; Yuan, Cave, & Zhang, 2018). Anselin Local Moran's I aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (3)$$

Burada; x_i , i konumundaki değişkenin değeri; \bar{X} 81 ildeki orman yangınlarının sayısını; x_j , x değişkeninin diğer tüm

konumlardaki değerini ($j \neq i$); S_i^2 , x değişkeninin varyansını ve $w_{i,j}$ ise detay i ve j arasındaki uzamsal ağırlığı ifade etmektedir. Bu yöntemdeki pozitif değer, bir özelliğin yüksek veya düşük aynı nitelik değerlerine sahip komşu özelliklere sahip olduğunu gösterir (Affan, Syukri, Wahyuna, & Sofyan, 2016; Anselin, 1995). Değer kümeleri, yüksek değeri (High-High) ve düşük değeri (Low-Low) içerir. Ek olarak, $w_{i,j}$ bir mesafe bandı veya eşik mesafesi kullanılarak belirlenebilir. Alana bir uzaklık bandı içinde aynı ağırlık verilirken, uzaklık bandının dışında kalanlara 0 ağırlık değeri verilir (Zhang, Luo, Xu, & Ledwith, 2008).

Analiz yöntemi veri noktalarının kümelenme, dağınık ve rastgele olma durumunu belirler. Eğer Moran's I indeks değeri sıfırdan büyükse (pozitif değerler), veri noktaları kümelenmiştir. Eğer indeks değeri sıfırdan küçükse (negatif değerler), veri noktaları dağınık durumdadır. Eğer indeks değeri sıfıra çok yakın veya sıfırsa, veri noktaları rastgele dağılmıştır (Chen & Yang, 2018; Cheruiyot, 2022; Ohyama, Hanyu, Tani, & Nakae, 2022).

Getis-Ord G_i^* : Bu yöntem Sıcak Nokta Analiz aracını kullanarak yüksek veya düşük kümelerin değerini bir derece güvenle ölçer (Affan vd., 2016; Mitchell & Griffin, 2021; Ord & Getis, 1995). Getis-Ord G_i^* yöntemi özelliklerin tam mekânsal rastgelelik içinde yapılandırıldığını, sıfır hipotezini reddetmek veya reddetmemek için Z skorlarını ve p değerlerini tahmin eden bir analiz yürütmektedir (Akyürek, 2023).

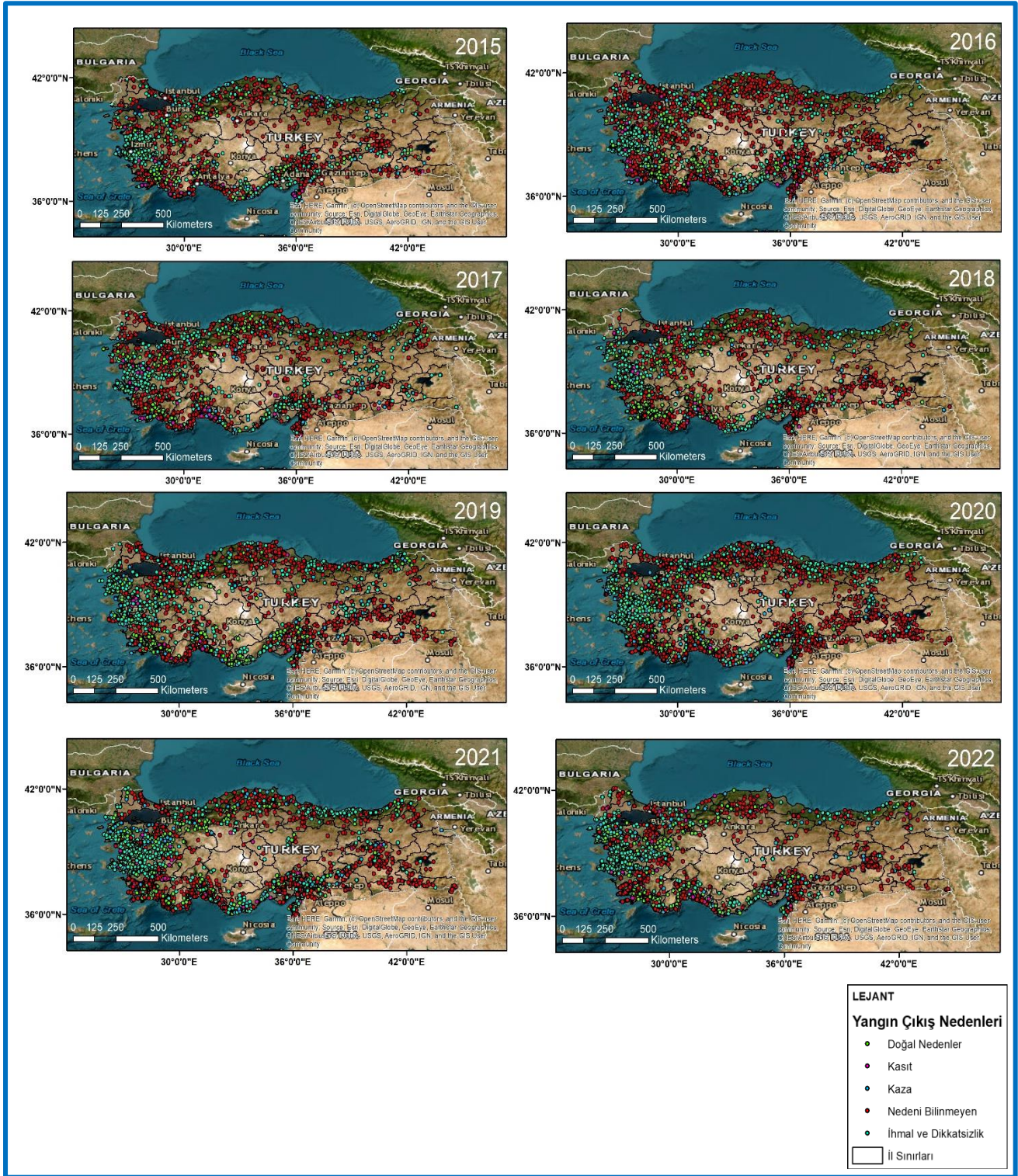
Bu bağlamda istatistiksel olarak hesaplanan Z skoru ne kadar büyük ise veri setinde bulunan yüksek değerler o derece kümelenmiştir. Benzer şekilde hesaplanan Z skoru ne kadar küçükse veri seti içerisindeki düşük değerler o derece fazla kümelenmiştir. Hesaplanan G_i^* değeri sıfıra yaklaştığında hesaplanan detayın komşuluğunda yüksek veya düşük değerlerin olmadığı anlaşılır (Akyürek, 2023; Feng, Chen, Gao, & Liu, 2018; Rossi & Becker, 2019; Zhang, Tao, & Wang, 2022).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (4)$$

Burada w_{ij} i ve j poligonları arasındaki konumsal ağırlık matrisidir; x_j veri setindeki j 'inci detayın değerini, S standart sapmayı ve n toplam detay sayısını belirtir.

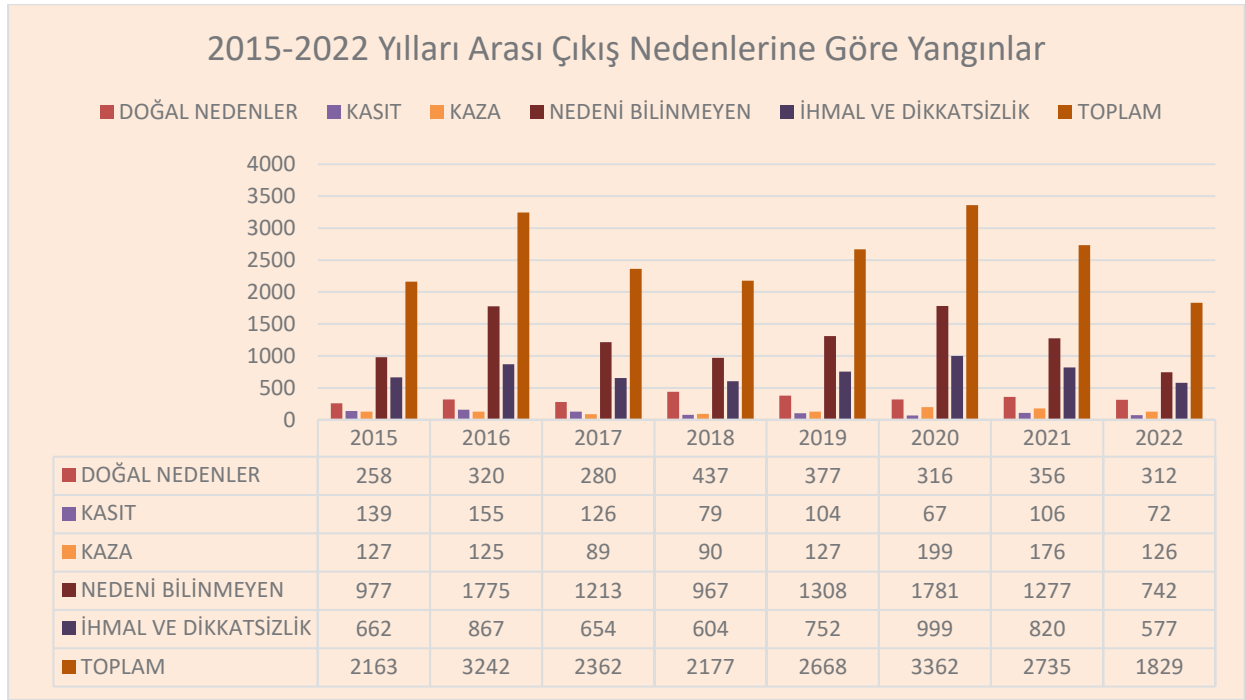
4. Bulgular ve Tartışma

Türkiye genelinde 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınları, yıl bazında çıkış nedenlerine göre istatistiksel olarak analiz edilmiş ve haritaları üretilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3: Türkiye’de meydana gelen orman yangınlarının çıkış nedenlerine göre dağılımı

Ayrıca 2015 ile 2022 yılları arasındaki sekiz yıllık periyot için ülke genelinde meydana gelen orman yangınlarının çıkış nedenlerine göre dağılımı grafiksel olarak da analiz edilerek mevcut durumu ortaya konmuştur (Şekil 4).



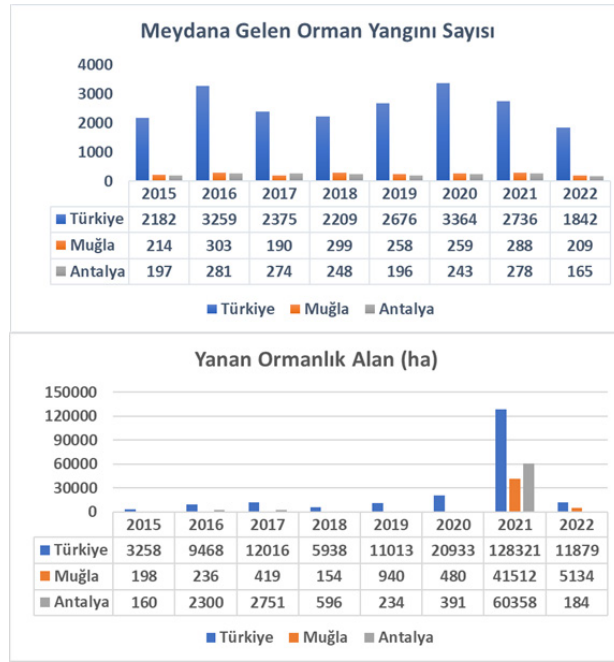
Şekil 4: 2015-2022 yılları arasında çıkış nedenlerine göre meydana gelen orman yangınları

Bu veriler incelendiğinde 2015 ile 2020 yılları arasında meydana gelen toplam orman yangını sayılarının 2016 ve 2017 yılları hariç her yıl bir önceki yıla göre sistematik olarak arttığı, 2021 ile 2022 yıllarında ciddi oranda azaldığı ve en az orman yangınının 2022 yılında meydana geldiği görülmektedir. Bu azalışlarda COVID-19 pandemi sürecindeki sokağa çıkma kısıtlamalarının yanı sıra İnsansız Hava Aracı (İHA) ve teknolojik çözümlerden faydalanılarak alınan önlemlerin de etkili olabileceği düşünülmektedir.

Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen 8 yıllık (2015-2022) orman yangını verileri değerlendirildiğinde orman yangınının en çok meydana geldiği beş il arasında ormanlık alan bakımından oldukça zengin olan Muğla ve Antalya'nın yer aldığı (Şekil 5), özellikle 2021 yılında Antalya'da 2022 yılında ise Muğla'da en fazla yanmış ormanlık alanın bulunduğu açıkça görülmektedir (Şekil 6). Diğer taraftan her yıla ait yanmış ormanlık alanların büyüklüğü karşılaştırıldığında, sadece 2021 yılında, COVID-19 nedeniyle farklı tarihlerde sokağa çıkma kısıtlaması olmasına rağmen Antalya'da tüm yılların toplamından (2021 yılı hariç) yaklaşık 9 kat fazla, Muğla'da ise tüm yılların toplamından (2021 yılı hariç) yaklaşık 5.5 kat fazla ormanlık alanın yanmış olduğu gerçeği dikkat çekmektedir (Şekil 6).

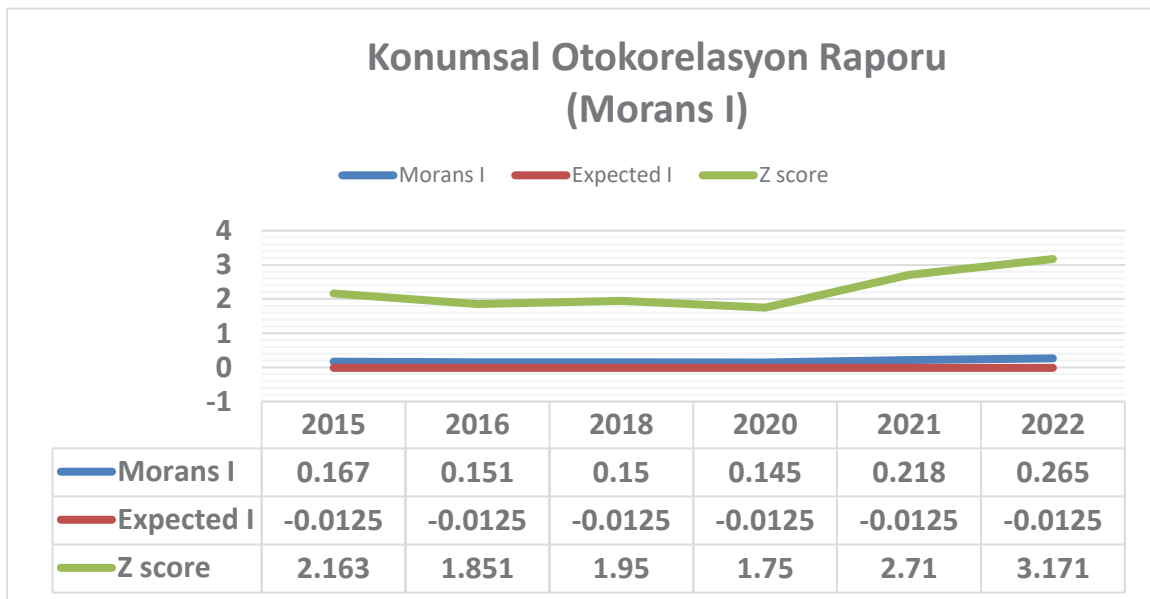


Şekil 5: Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında en çok orman yangını meydana gelen 5 il



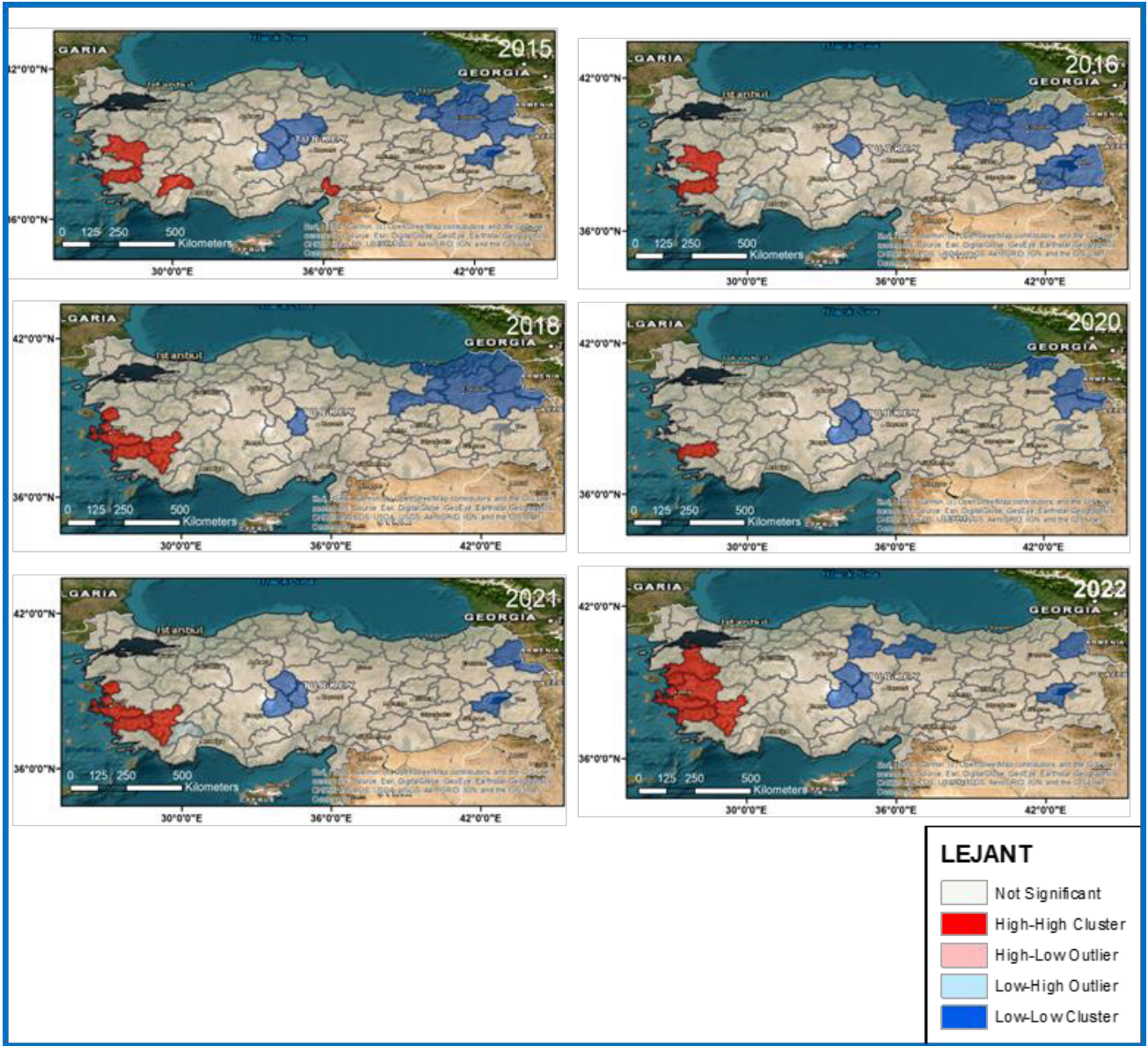
Şekil 6: 2015 ile 2022 yılları arasında Türkiye'de, Muğla'da ve Antalya'da meydana gelen orman yangını sayıları ve yanmış ormanlık alanlar (hektar)

Bu çalışmada Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının mekânsal örüntüleri de analiz edilmiştir. Moran's I istatistiğine göre sekiz yıllık periyotta hangi yıllarda kümelenme meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 7). Ayrıca bir diğer değerlendirme ölçütü olarak Z skoru kullanılmaktadır. Z skoru değersel olarak -1.65 ile -2.58 arasında bir değer aldığı ters olarak birbirini etkilediği, -1.65 ile +1.65 değeri aralığında rastgele dağıldığı ve 1.65 ile 2.58 aralığında ise kümelenme olduğu bilinmektedir. Kümelenmenin olduğu aralıklar 1.65 ile 1.96, 1.96 ile 2.58 ve 2.58'den büyük değerler olmak üzere düşükten yükseğe doğru kümelenme kategorisini belirlemektedir. Benzer şekilde Moran I değeri +1'e yaklaştıkça kümelenmenin artması söz konusudur (Akyürek, 2023). Moran's I ve Z değerleri dikkate alınarak mekânsal otokorelasyon raporlarının sonuçları incelendiğinde, 2017 ve 2019 yıllarında yangınların rastgele olarak dağıldığı, 2015, 2016, 2018, 2020, 2021 ve 2022 yıllarında kümelenmenin meydana geldiği ve özellikle 2021 ve 2022 yıllarında oldukça yoğun bir kümelenmenin oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 7: Orman yangın kümelenmesi meydana gelen yıllara ait analiz değerleri

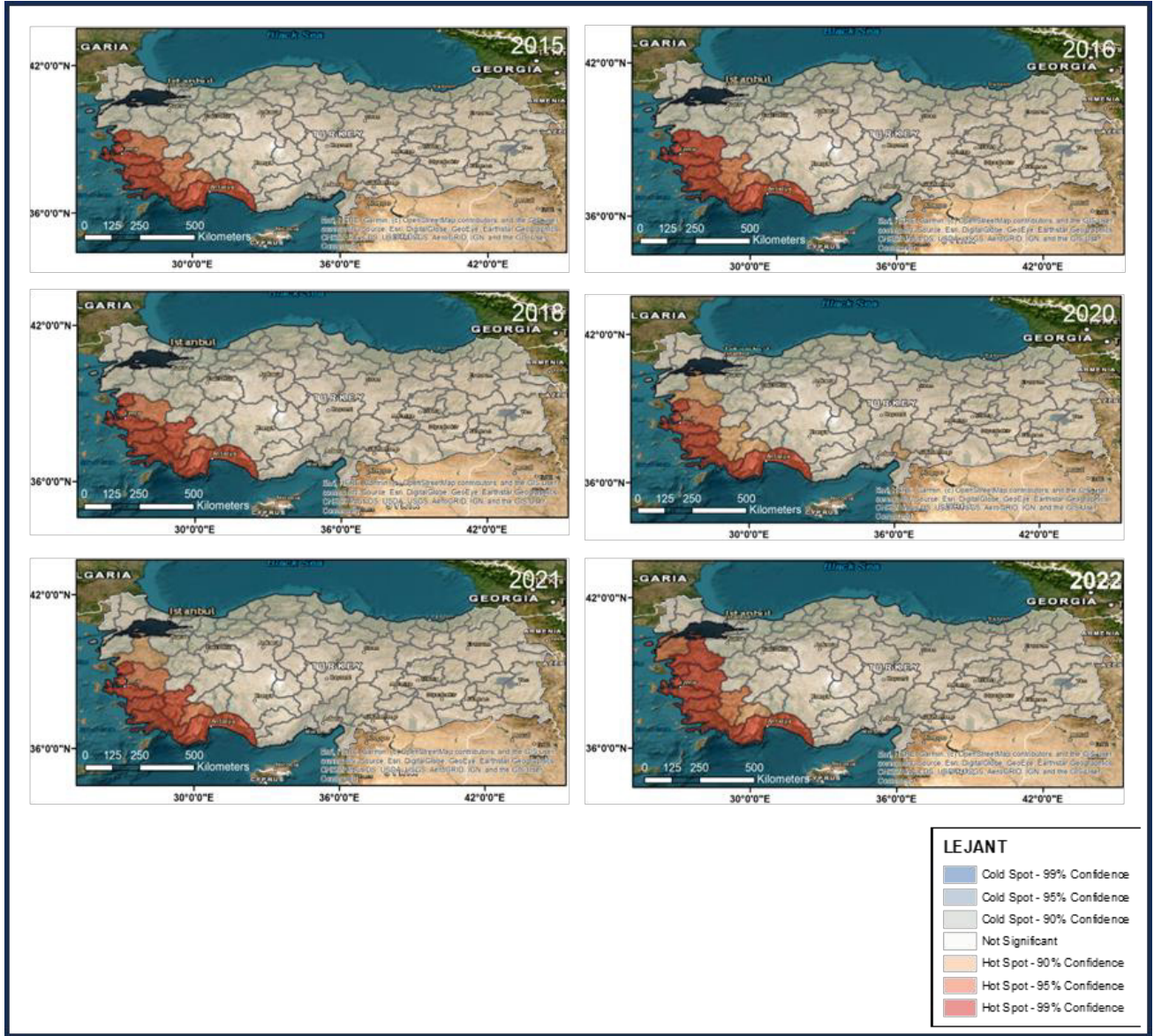
Kümelenme meydana gelen yıllara ait orman yangınları Kümelenme Analizi (Cluster and Outlier Analysis) ve Sıcak Nokta Analizi yöntemleri ile analiz edilerek haritaları üretilmiştir. Anselin Local Moran's I ile analizin sonucunda kümelenmenin boyutu yüksekten düşüğe doğru seviyelerine göre (High-High, High-Low, Low-High ve Low-Low) sınıflandırılırken Getis-Ord G_i^* yönteminde Soğuk Nokta (%90, 95, 99) ve Sıcak Nokta (%90, 95, 99) olarak sınıflandırılmaktadır. Elde edilen bulgular tüm yıllar için değerlendirildiğinde yüksek güven aralığında, orman yangınlarına ait yoğun mekânsal kümelenmenin ormanların sıklıkla bulunduğu Ege ve Akdeniz bölgelerini kapsadığı söylenebilir. Özellikle Muğla, İzmir, Balıkesir ve Antalya yakınlarını kapsayan bölgede son yıllarda yüksek kümelenmeler tespit edilmiştir. Nispeten ormanlık alanların daha az olduğu İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ise düşük mekânsal kümelenmeler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8: Anselin Local Moran's I analizi sonucu elde edilen mekânsal kümelenme haritaları

Getis-Ord G_i^* istatistiklerinde pozitif Z değerlerinin yoğun bir şekilde kümelenmiş olması mevcut verilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu istatistik, güven aralığı ile birlikte yüksek ve düşük değerlerde kümelenmiş alanları ölçer. Bu kapsamda çalışma alanı içerisinde %90, %95 ve %99 güven aralıklarında birçok kümelenmiş il söz konusudur (Şekil 9). Yüksek ve düşük kümelenmelerin tespit edildiği Akdeniz ve Ege bölgelerinde aynı alanlarda tekrar eden

pozitif yüksek konumsal kümelenmeler gözlemlenmektedir. Özellikle Antalya ve Muğla bölgelerinde %99 güven düzeyinde sıcak nokta kümeleri belirlenmiştir.



Şekil 9: Sıcak Nokta Analizi sonucu elde edilen kümelenme haritaları

Tüm çalışma alanında kümeler tüm yıllar için incelenmiş ve farklı küme boyutlarında zaman içindeki değişimler gözlemlenmiştir. Çalışma alanında yangın çıkış nedenleri incelendiğinde birçok yangının nedeni bilinmeyen kategorisinde olduğu görülmektedir. Ülkemizin terörden muzdarip olması nedeniyle “nedeni bilinmeyen” yangınların bazılarının “kasıt” kategorisinde yer alıp almadığı ayrıntılı olarak araştırılması gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulguların, orman yangınlarının yoğun olarak kümelendiği yerlerde gerekli tedbirlerin alınması sürecinde yol gösterici potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Özellikle yangın çıkış nedeni kasıt olan alanlarda gerekli tedbirlerin alınması, söndürme ekiplerinin yoğunluğunun artırılması, söndürme sürecinde insansız sistemler gibi teknolojik olanaklardan faydalanılması ve orman yangınlarının CBS tabanlı sistemler ile sürekli olarak izlenmesi gibi önlemlerle ormanların korunması sağlanabilir.

Son yıllarda ülkemizde özellikle kasıtlı ve nedeni bilinmeyen olarak sınıflandırılan orman yangını sayılarının oldukça artmış olması nedeniyle bu yangınlar birçok farklı araştırmaya konu olmuştur. Literatür detaylı incelendiğinde araştırmacılar

tarafından orman yangınlarının farklı açıdan değerlendirilmesine ve bu yangınlara çözüm aranmasına yönelik çalışmaların gerçekleştirildiği, mekânsal istatistik çatısı altında ise hastalıkların dağılımı, trafik kazalarının analizi ve levha hareketleri gibi birçok farklı araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Ancak, Türkiye'de orman yangınlarının mekânsal istatistik analiz yöntemleriyle incelenmesine yönelik çalışmalara sınırlı sayıda rastlanmaktadır (Akyürek, 2023; Gayır ve Arslan, 2018; Karabacak vd., 2019).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde Akyürek (2023) tarafından, MODIS platformunun Terra ve Aqua uydularından veri elde edilerek CORINE verisine göre ormanlık ve otlaklık alanlar sınıflandırılmıştır. Ayrıca, 2000-2005, 2006-2011, 2012-2017 ve 2018-2021 aralığındaki veriler kendi aralarında gruplandırılarak küme analizi gerçekleştirilmiştir. Karabacak vd. (2019) tarafından 2013 ile 2018 yıllarına ait Antalya ilindeki orman yangınlarının yangın çıkış noktalarının konumlarına bağlı olarak mekânsal istatistik modülü aracılığıyla mekânsal desen analizi (kuadrat analizi, en yakın komşuluk analizi) ve mekânsal otokorelasyon (global mekânsal otokorelasyon, yerel mekânsal otokorelasyon) yöntemleri ile veriler hem konum hem de özniteliklerine göre değerlendirilmiştir. Kuadrat analizi sonucu bir risk bölgesi elde edilmiştir. Mekânsal otokorelasyon sonuçlarına göre sıcaklık, bağıl nem ve rüzgâr hızının en yüksek kümelenme gösterdiği alanlarda ayrı bir risk bölgesi oluşturulmuştur. Benzer şekilde Gayır ve Arslan (2018), Muğla bölgesinde 2011 ile 2015 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarını kümelenme analizi ile araştırmıştır. Duran (2014), Mersin Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde meydana gelen orman yangınlarının başlangıç noktalarını esas alarak Sıcak Nokta analizi ile kümelenmeler tespit etmiştir. Ayrıca, meydana gelen bu yangınlar sayılarına göre kategorik olarak sınıflandırılmış ve ağırlıkları hesaplanarak potansiyel orman yangınları için yangına hassas bölgeler ortaya konmuştur.

Yukarıda incelenen çalışmalara dikkat edildiğinde söz konusu çalışmalardan farklı olarak gerçekleştirilen bu çalışmada Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınları, Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen veriler doğrultusunda her yıl ayrı ayrı olmak üzere ve il bazında tüm ülke için kümelenmeler ve sıcak noktalar ortaya konularak ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Son yıllarda dünyada orman yangınlarında hem boyut hem de sıklık açısından ciddi bir artış gözlenmektedir. Sebebi her ne olursa olsun doğal veya insan kaynaklı orman yangınları, doğayı ve canlı ekosistemini tehdit eden önemli bir felakettir. Türkiye özellikle son yıllarda ciddi birçok yangın felaketine maruz kalmıştır. Bu nedenle CBS tabanlı sistemlerle bölgesel yangın sıklığının, yangın çıkış nedenlerinin ve kümelenmelerin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilecek çalışmaların oldukça önemli olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada mekânsal istatistiksel yöntemler kullanılarak Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının yıllara göre il bazında kümelenmesine odaklanılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda gelecekte bu yangınların azaltılmasına yönelik yapılacak çalışmalara katkı sağlanacağı öngörülmektedir. Yerel kümelenme oluşumları ve yıllara göre değişimleri incelendiğinde Akdeniz ve Ege Bölgeleri civarında yüksek konumsal kümelenmenin özellikle son yıllarda yüksek bir güven aralığı ile tekrar ettiği ortaya konulmuştur. Böylece, nedeni bilinmeyen yangınların sebeplerinin daha derinlemesine araştırılarak bölgesel bazda özel tedbir amaçlı ne tür çalışmaların yapılabileceğine dair kapsamlı bir bakış açısı sağlanmıştır.

Yazar Katkısı

Yasin Demirel: Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Yazım. **Tarık Türk:** Fikir, Tasarım, Veri toplama, Makale değerlendirme, Denetleme, Yazım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Affan, M., Syukri, M., Wahyuna, L., & Sofyan, H. (2016). Spatial statistic analysis of earthquakes in Aceh province year 1921-2014: cluster seismicity. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(2), 54-62.
- Akyürek, Ö. (2023). Türkiye'deki 2000–2021 Yılları Arasındaki Bitki Örtüsü Yangınlarının Mekânsal Analizi. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(1), 33-46.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27(2), 93-115.
- Bone, C., Wulder, M. A., White, J. C., Robertson, C., & Nelson, T. A. (2013). A GIS-based risk rating of forest insect outbreaks using aerial overview surveys and the local Moran's I statistic. *Applied Geography*, 40, 161-170.
- Chen, C. Y., & Yang, Q. H. (2018). Hotspot Analysis of the Spatial and Temporal Distribution of Fires. *GISTAM*, 15-21.
- Cheruiyot, K. (2022). Detecting spatial economic clusters using kernel density and global and local Moran's I analysis in Ekurhuleni metropolitan municipality, South Africa. *Regional Science Policy & Practice*, 14(2), 307-327.
- Dabanlı, İ. (2021). İklim Değişikliği ve Artan Orman Yangınları İlişkisi Kavzoğlu, T.(ed) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Doğru, A. Ö., David, R. M., Uluğtekin, N., Göksel, C., Şeker, D. Z., & Sözen, S. (2017). GIS based spatial pattern analysis: Children with Hepatitis A in Turkey. *Environmental research*, 156, 349-357.
- Duran, C. (2014). Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001-2013). *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 1(1 A), 38-49.
- Feng, Y., Chen, X., Gao, F., & Liu, Y. (2018). Impacts of changing scale on Getis-Ord G_i^* hotspots of CPUE: a case study of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest Pacific Ocean. *Acta Oceanologica Sinica*, 37, 67-76.
- Fu, W. J., Jiang, P. K., Zhou, G. M., & Zhao, K. L. (2014). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China. *Biogeosciences*, 11(8), 2401-2409.
- Gayır, B., & Arslan, O. (2018). Orman yangınlarının CBS tabanlı konumsal istatistik analizi: 2011-2015 yılları arasında Muğla orman bölge sınırları içerisinde çıkan yangınlar. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 46-62.
- Güneyli, H., & Ahmed, S. M. S. (2023). Detecting abnormal seismic activity areas of Anatolian plate and deformation directions using Python Geospatial libraries. *Heliyon*, 9(3).
- Islam, A., Sayeed, M. A., Rahman, M. K., Ferdous, J., Islam, S., & Hassan, M. M. (2021). Geospatial dynamics of COVID-19 clusters and hotspots in Bangladesh. *Transboundary and Emerging Diseases*, 68(6), 3643-3657.
- Karabacak, K., Türkşen, Ö., & Bayar, R. (2019). Spatial statistics analysis of forest fires in Antalya province. *1st Istanbul International Geography Congress, 2019. Proceedings*, 615-630.
- Kavzoğlu, T. (2021). *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Tonbul H., & Öztürk M. Y. (2021). *Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları Kavzoğlu, T.(ed) Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Knopp, L., Wieland, M., Rättich, M., & Martinis, S. (2020). A deep learning approach for burned area segmentation with Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 12(15), 2422.

- Mısır, M., & Mısır, N. (2021). *Orman Yangınlarının İklim Değişikliği Açısından Değerlendirilmesi* Kavzoğlu, T.(ed) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Mitchell, A., & Griffin, L. S. (2021). *The Esri Guide to GIS Analysis, Volume 2: Spatial Measurements and Statistics, second edition*. ESRI.
- Musaoğlu, N., Yanalak, M., Güngöroğlu, C., & Özcan, O. (2021). *Orman yangınlarının yönetiminde bilgi teknolojilerinin katkıları* Kavzoğlu, T.(ed) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Ohyama, T., Hanyu, K., Tani, M., & Nakae, M. (2022). Investigating crime harm index in the low and downward crime contexts: a spatio-temporal analysis of the Japanese Crime Harm Index. *Cities*, 130, 103922.
- Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, 27(4), 286-306.
- Rossi, F., & Becker, G. (2019). Creating forest management units with Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*) over a forest affected by mixed-severity fires. *Australian Forestry*, 82(4), 166-175.
- Şeker, M. (2021). Sunuş. Kavzoğlu, T.(ed) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Şener, R., & Türk, T. (2021). Spatiotemporal analysis of cardiovascular disease mortality with geographical information systems. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 14(4), 929-945.
- Şener, R., & Türk, T. (2023). Spatiotemporal and seasonality analysis of sheep and goat pox (SGP) disease outbreaks in Turkey between 2010 and 2019. *Tropical Animal Health and Production*, 55(2), 65.
- Tedim, F., Leone, V., Lovreglio, R., Xanthopoulos, G., Chas-Amil, M. L., Ganteaume, A., Efe, R., Roye, D., Fuerst-Bjeliš, B., Nikolov, N., Musa, S., Milenkovic, M., Correia, F., Conedera, M., & Boris Pezzatti, G. (2022). Forest fire causes and motivations in the southern and South-Eastern Europe through experts' perception and applications to current policies. *Forests*, 13(4), 562.
- Yakar, M. (2011). Nüfus dağılımının mekânsal analizi: Afyonkarahisar ili örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(19), 389-406.
- Yuan, Y., Cave, M., & Zhang, C. (2018). Using Local Moran's I to identify contamination hotspots of rare earth elements in urban soils of London. *Applied geochemistry*, 88, 167-178.
- Zhang, C., Luo, L., Xu, W., & Ledwith, V. (2008). Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. *Science of the total environment*, 398(1-3), 212-221.
- Zhang, Q., Ge, L., Zhang, R., Metternicht, G. I., Liu, C., & Du, Z. (2021). Towards a deep-learning-based framework of Sentinel-2 imagery for automated active fire detection. *Remote Sensing*, 13(23), 4790.
- Zhang, L., Tao, Z., & Wang, G. (2022). Assessment and determination of earthquake casualty gathering area based on building damage state and spatial characteristics analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 67, 102688.

Analysis and visualization of crime data using GIS technology: Understanding crime patterns and distribution

Gamze Bediroglu^{1*} , H. Ebru Colak² 

¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Kilis, Türkiye.

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye.

Abstract: Crime mapping is an important method for identifying crime patterns. Crime maps are widely used to visualize spatial distribution of crime and allocating security resources. A qualified cartographic representation is essential for the presentation of the results of crime analysis, so the preparation and enrichment of crime maps requires careful obedience to cartographic principles. This article presents a combined comprehensive and understandable mapping methods and techniques for crime analysis and crime mapping for Trabzon, Türkiye. Prior to the analysis and mapping process, crime data recorded between 2011 and 2015 was reclassified. In the next stage, editing of erroneous data, standardization and geocoding processes were applied. The spatial distribution of all crimes was analyzed and mapped with the Kernel Density Estimation method. The Hexagon grid mapping technique and Hotspot method were used for visualization of spatial data and temporal trends of criminal activity. The spatial and temporal distribution of burglary and assault crimes (the most common crimes of all crimes) was mapped with these techniques. Maps also provide detailed information on crime patterns for study area, and help the police department to develop safe city strategies and reduce crime activities.

Keywords: Crime, Crime mapping, Crime analysis, GIS, Spatial distribution

Suç olaylarının CBS ile analizi ve görselleştirilmesi: Suçun kalıplarını ve dağılımını anlamak

Öz: Suç haritaları suçun mekânsal dağılımını görselleştirmek ve güvenlik kaynaklarını yönlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Suç haritalama, suç olaylarının kalıplarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Suç analiz sonuçlarının sunumu için nitelikli kartografik gösterimler gerekmektedir. Bu yüzden suç haritalarının zenginleştirilmesi ve hazırlanması sürecinde kartografik ilkelere uyulmalıdır. Bu çalışma, Trabzon ilinde suçların analizi ve haritalanması için bütünlük, kapsamlı ve anlaşılır bir haritalama yöntemi ve tekniği sunmaktadır. Çalışma kapsamında öncelikli olarak 2011-2015 yılları arasında kayıt altına alınan suç verileri yeniden sınıflandırılmıştır. Bir sonraki aşamada suç verilerindeki hatalı veriler düzeltilmiş, veri standardizasyonu sağlanmış ve coğrafi kodlama işlemi uygulanmıştır. Suç olaylarının mekânsal dağılımı "Çekirdek Yoğunluk Tahmini" yöntemiyle analiz edilmiş ve haritalanmıştır. Suç olaylarının mekânsal ve zamansal eğilimleri görselleştirilmesi için ise "Altügen İzgara Haritalama Tekniği" ve "Sıcak Nokta Yöntemi" kullanılmıştır. Bu teknikler ile hırsızlık ve şiddet suçlarının mekânsal ve zamansal dağılımı haritalanmıştır. Hazırlanan haritalar, çalışma alanındaki suç kalıpları hakkında ayrıntılı bilgi sağlamaktadır. Ayrıca emniyet birimleri tarafından güvenli şehir stratejileri geliştirmesine ve suç olaylarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Suç, Suç haritalama, Suç analizi, CBS, Mekânsal dağılım

1. Introduction

The geography of crime focuses on the relationship between crime, space, and the social environment by analyzing crime behaviors, criminals, and crime influences (Feng, Dong & Song, 2016). The crime analysis helps to identify areas with high crime rate. In addition, it ensures that these areas are shown effectively through maps, and that possible crime events are detected and prevented by using past crime events. The results of crime analysis can be considered an important part of cartographic visualization in criminal activities and these outputs are communicated through thematic maps. Crime mapping is very important for controlling and managing crime events in the space. Crime mapping contributes to policing and law enforcement by helping to understand crime patterns and criminal activity. As a general perspective, spatial analysis and crime mapping offer a number of advantages, particularly in the fields of applications such as: operational policing strategy, crime prevention or reduction, information and interaction with the community, monitoring of temporary changes in the distribution of crime and evaluation of efficiency of crime prevention initiatives (Hirschfield & Bowers, 2001; Wolff & Asche, 2019).

Hotspot maps are called an important clustering analysis technique and are the traditional method of analyzing and visualizing the distribution of crimes across space and time (Gerber, 2014). According to Ratcliffe (2004), cited in Boba (2005), a hotspot is defined as an “area with high crime intensity”. In addition to Chainey and Ratcliffe (2005), McCullagh (2006) also found different approaches to detecting and mapping hotspots (Kumar & Somashekar, 2012).

There are different techniques for generating hotspot maps. By applying Kernel Density Estimation (KDE) technique, spatial distribution of crimes and areas where the crimes tend to cluster can be identified. In KDE, greater weight is given to the events closest to the center of the radius (Eck, Chainey, Cameron, Leitner, & Wilson, 2005; Gwinn, Bruce, Cooper, & Hick, 2008; Paynich & Hill, 2010; IACA, 2013). It is important to know where crime patterns cluster in both space and time have significant effects on strategic action towards crime prevention (Glasner & Leitner, 2017). In many parts of the world, trends in crime prediction models are increasing in order to reduce crime. Gupta, Rajitha, Basu and Mittal (2012) determined the points where the crime is intense, created maps of crimes according to their types and examined the relation between the types of crime and the social factors affecting the crime with Geographic Information Systems (GIS). Gerber (2014) considered a crime prevention method using integrated KDE with twitter. Mohler (2014) used KDE for the prediction of homicides and gun crimes. Kumar and Somashekar (2012) mapped crimes and analyzed crime scenarios using Hotspot and Buffer analysis in the Tumkur region of India. Ejemeyovwi (2015) determined the spatial pattern of crime through the mapping of crime hotspot (Getis-Ord local) monitoring over a time series period of seven years of two data sets (2000-2006) and (2004 -2010) in Asaba, Delta State.

The use of GIS for crime mapping is very important for gaining deeper insights about the aspects of crimes by enabling the analysis and visualization of crime hotspots along with other trends and patterns. In addition, traditional crime forecasting systems make extensive use of historical event patterns as well as layers of information provided by GISs (Wang, Gerber, & Brown, 2012).

In this study, studies in the field of crime in Türkiye were also examined. Gurbuz and Karabulut (2007) investigated the relationship between space and crime in Adana's Seyhan district of Beşocak police center authorization area, using GIS. In the study, the relationship between space and crime was examined through buffer zones. In the study of Gurbuz, Karabulut and Temir (2013), ArcGIS was used to analyze and map the relationship between car theft crimes and space that occurred in the city of Kayseri. By using base map of Kayseri, which includes streets and block groups, several spatial analyzing

techniques have been used to examine car theft structure in the study area. In another study, Eken and Kumru (2014) indicated police-judicial category crime data published in “Bizim Kocaeli” newspaper between 2011 and 2012 years on maps. In addition, they developed a web-based application that allows users to realize spatial (e.g., finding an address), proximity (e.g., listing crimes in circle with a diameter of 300 meters in manner Kocaeli University-centralized) and network analysis (finding the route the nearest police station to a crime) on these data. Aliagaoglu and Cildam (2016) analyzed the distribution of crimes by neighborhoods in Bandırma using graphics, tables and mapping methods. In the study, the relationship between crime and the factors causing was examined by using regression analysis. When these studies conducted in Türkiye are examined, it is observed that there are gaps in the spatial statistical analysis of crime and the analysis of spatial density distribution by mapping.

In this study, a spatial database model was designed to map criminal events. Density analysis of all crimes was carried out and the results of this analysis were shown as heat maps in GIS environment. One of the main purposes of paper is the creation of maps and other outputs helping perception of decision makers and people for investigating and understanding crime. In addition, hotspots of burglary and assault crime that having the highest crime events were presented to identify crime patterns and shown on the hexagon map of crimes. Hexagon grid mapping technique was used for identification hotspots of these crimes. While crime data analysis processes may be easier in well developed countries due to ready crime databases, in Türkiye crime data collection is not easy due to the lack of ready-to use and standardized crime databases and, for this reason, the GIS crime database is a new approach for Türkiye. In this study, raw datasets were enhanced to make crime geodatabase usable. These approaches and methods were considered to be a suitable model for other developing countries. Technical contribution for related scientific methods is making crime events more understandable with the help of GIS visualization approaches.

1.1 Spatial Distribution Techniques of Crime Mapping

1.1.1 Hotspot Mapping

Hotspot mapping is a widely used spatial analysis method for mapping and forecasting spatial data. The crime-mapping pattern is one of the application areas of this method. This mapping method is based on the assumption that past crime scenes are good predictors of future events (Hart & Zandbergen, 2014). Crime hotspots are areas with dense crime scenes that exhibit a nonrandom pattern in space and/or time. Hotspots are identified on the basis of the relative number of crime events. Therefore, the prediction of the critical points of crime is usually accompanied by the prediction of the crime count, and these crime counts are utilized for identifying hotspots (Hajela, Chawla, & Rasool, 2021). Hotspot mapping means finding crime patterns used to reduce crime (Gahlin & Johansson, 2014).

This method defines the spatial clustering of statistically significant high values (hotspots) and low values (coldspots). In this method, small P-value and high Z-score are significant hotspots; A small P-value and low negative Z-score indicate a significant coldspot. The Getis-Ord local stats:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{i,j} X_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n W_{i,j}}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n W_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n W_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (1)$$

Here; n is the number of points in the sample, X_j is the variable value of point j , $W_{i,j}$ is the spatial weight value that gives the proximity relationship between point i and point j . The mean value of the variable (\bar{X}) is calculated as follows:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} - \bar{X}^2} \quad (3)$$

G_i^* is a statistical Z-score so no other calculations are needed. The calculated G_i^* value has a normal distribution and is the Z statistic value (Gayır & Arslan, 2018).

There are different methods used for hotspot mapping. Point map, grid thematic map, Spatial Ellipses and KDE are some of the methods used. These methods often allow the visualization of areas with historical high crime concentration with the predisposition that future crimes often occur in the vicinity of past crimes (Beiji, Mohammed, Chengzhang, & Rongchang, 2017).

1.1.2 Kernel Density Estimation (KDE)

KDE is a popular hotspot mapping method. It converts point incidents to a density surface that summarizes the point distribution (Hu, Wang, Guinc, & Zhub, 2018). Areas on the surface with high density values above a predefined threshold are defined as hotspots (Hu, Miller, & Li, 2014).

In this method, a radius is determined for each point and a circular zone is created around these points. Therefore, determining the radius is one of the most important factors when using this method. In order to determine the radius value in the KDE method, the data should be analyzed statistically. The value of the radius is calculated approximately according to the mean distance between two sample data. It is obtained from the average value of the expected distance resulting from the average analysis of the nearest neighbors.

Density values are calculated by weighting the crime events according to their distance from the centers of the circles. In the method, closer events are assigned more weight than distant events, and the density is determined by the number of points falling within these circles.

It has been proven in studies that the KDE method is quite effective in terms of precision and prediction. Chainey, Tompson and Uhling (2008) compared KDE with other techniques in predictive hotspot mapping and observed that KDE performed significantly better than others (Hu et al., 2018).

When the KDE mathematical model is examined, the equation based on measuring the temporal density of crime created by Gerber (2014) is shown below:

$$f1(p) = k(p, h) = \frac{1}{ph} \sum_{j=1}^p K\left(\frac{\|p-p_j\|}{h}\right) \quad (4)$$

In this equation, p is the point at which density estimation is required, h is the bandwidth parameter (controls density estimation smoothness), P represents the total number of crime types, j denotes a single crime location, K is the standard normal density function, $\|\cdot\|$ signifies the Euclidian norm, and p_j is the position of crime j .

Comparing KDE and Hotspot (Getis-Ord G_i^*) analyses results, the two methods are generally visually similar, however there is a difference between them. Kernel density function and the Getis-Ord G_i^* statistics are completely different analyses. While KDE aims to detect clusters of high values within the data, G_i^* statistic not only detects but deepens understanding of spatial clusters of the phenomena under study (Kalinic & Krisp, 2018).

2. Methods

The study consists of 8 stages: (1) Selecting the study area, (2) Obtaining crime data from the Police Department, (3) Reclassification of crime types, (4) Standardizing crime data and creating a database, (5) Linking crime data and street data (geocoding), (6) Analyzing and mapping the spatial distribution of all crimes with the KDE method, (7) Using hexagonal grid mapping technique to visualize spatial and temporal trends of burglary and assault crimes, (8) Giving the statistical results.

2.1 Study Area

Türkiye is located in the Northern Hemisphere. It has a total area of 814 578 km² and separated into seven geographical regions. According to the address-based population registration system, the average population of Türkiye is 75 964 660 between 2011-2015 (TUİK, 2021).

The study area is Ortahisar district, in the center of Trabzon province, in the eastern Black Sea region in Türkiye (Figure 1). Trabzon is a central city in the eastern Black Sea and located between 38°30'–40°30' east longitude and 40°30'–41°30' north latitude. The surface area of Trabzon is 4685 km² and Ortahisar covers almost 189 km² of this area. The average population of Trabzon is 761 810 (2011-2015) and 313 586 of this population is located in the center of Trabzon, Ortahisar. Approximately 51% of population of Ortahisar is female and 49% is male.

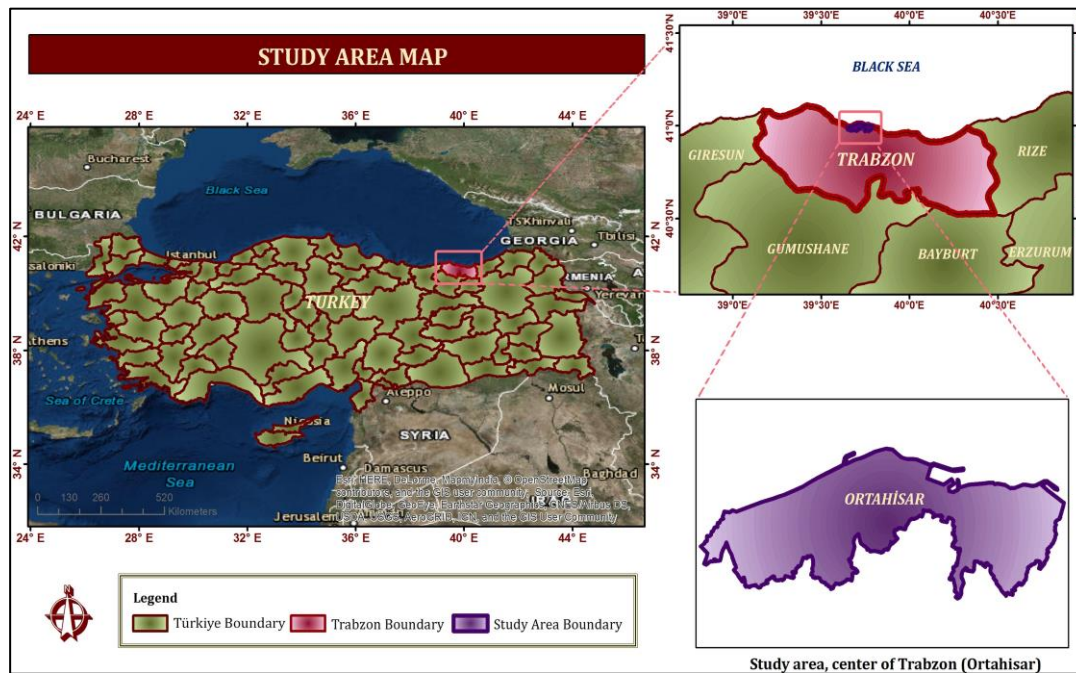


Figure 1: Map of study area

2.2 Database Design

A complete list of crime data was provided from Police Department of Trabzon. In addition, the authorities provided road and street networks. Between 2011 and 2015, 20,034 crimes were recorded and analyzed in this study. The data on each crime in the dataset provides information on the crime types, crime date, location of crime, the age and gender of offender. Since the crimes recorded by police involved lots of crime types and categories, crime categories were reclassified and aggregated to fourteen crime types to use in this study. The crime types and description used in this study are shown in Table 1.

Table 1: Crime types and descriptions

Reclassified Crime Types	Crime Categories Recorded by Police
Burglary	Residential and commercial buildings theft, car or vehicle theft, bank theft etc., pickpocketing and usurpation
Sexual Abuse	Rape, Sexual harassment, abuse, molestation etc.
Prostitution	Encouraging prostitution, Mediating prostitution etc.
Fraud	Document and money forgery etc., fraud and fabricate unreal crime.
Assault	Consciously injure and unconscious injure, apply assault
Drug	Buying or selling drug with purpose of use, stimulant drug trade
Irregularity against government	Insulting the government officer and law enforcement officer, damage to public property
Duty and trust abuse	Abuse mission and trust, do not do obligations
Threat	Threat and blackmail
Unexplained events	Accidents, suspicious deaths, suicide, lost property, missing person, intoxication, natural disaster etc.
Industrial accidents	Job accident and job accident death
Traffic accidents	Traffic accident and making dangerous things for traffic security
Irregularity against security and society	Making general security dangerous, crimes against people
Irregularity against person and property	Insult to people, violation of private life, irregularity to person property

Recorded crime data was in Excel format and most of crime dataset did not include coordinate of crimes (they include street information). Crime dataset was containing street information. This problem was solved with linking geocodes of street information in GIS environment. Prior to the geocoding of crime data, errors in street names were corrected and if there were duplicated records in the data, these data were deleted. The collected data were sorted, standardized, and geocoded. Geocoding “hit-rate” was in excess of 98 percent and accuracy of this geocoding for all crime data is sufficient qualitatively to fulfill the research purpose. The obtained data were converted to Transverse Mercator projection system, WGS 84 datum, central meridian 39 coordinate system and all data were made ready for analysis by integrating the geodatabase to be used in ArcGIS 10.8 software.

The geocoded dataset of registered crimes contains 20 005 records between 2011 and 2015. According to geocoded crimes, assault crimes are the most intensive type of crime in all types of crime and other types of crime are unexplained events, burglary, irregularity against person and property, threat. The count of crimes by types and years is given in Table 2. Among five years, 2014 has the most criminal events. The crimes that are divided into 14 main categories according to the purpose and types of crime were mapped out in Figure 2. In addition, symbolic representation of crime types shows places where crimes occurred in January 2014 in Ortahisar, Trabzon. According to crime events,

- 1) Assault crimes are the most intensive types of offences, with a percentage of 38 of the total number of offences.
- 2) Unexplained events are the second highest density crime types with 12% percentage of the total all crime events.
- 3) Burglary crimes are the third highest-density type of crime, accounting for 11% of total crimes.
- 4) Remaining crime types are irregularity against person and property are with 11%, threat with 7%, irregularity against security with 6%, fraud, drugs and irregularity against government with 3%, sexual abuse, traffic accident are with 2%, industrial accidents, duty and trust abuse, prostitute are with 1%.

Table 2: Count of crimes by types and year

Crime Types	Years					Total
	2015	2014	2013	2012	2011	
	Count	Count	Count	Count	Count	Count
Assault	1401	1607	1512	1558	1475	7553
Unexplained events	501	532	431	444	493	2401
Burglary	491	645	373	342	387	2238
Irregularity against person and property	444	592	372	435	337	2180
Threat	393	354	244	177	153	1321
Irregularity against security and society	183	196	261	226	245	1111
Fraud	177	144	111	104	142	678
Drug	123	103	108	124	108	566
Irregularity against government	120	120	114	81	120	555
Sexual abuse	66	91	74	77	70	378
Traffic accidents	183	71	19	24	26	323
Industrial accidents	89	51	33	43	65	281
Duty and trust abuse	89	49	40	34	33	245
Prostitution	31	58	38	48	29	204
Total	4291	4613	3730	3717	3683	20034

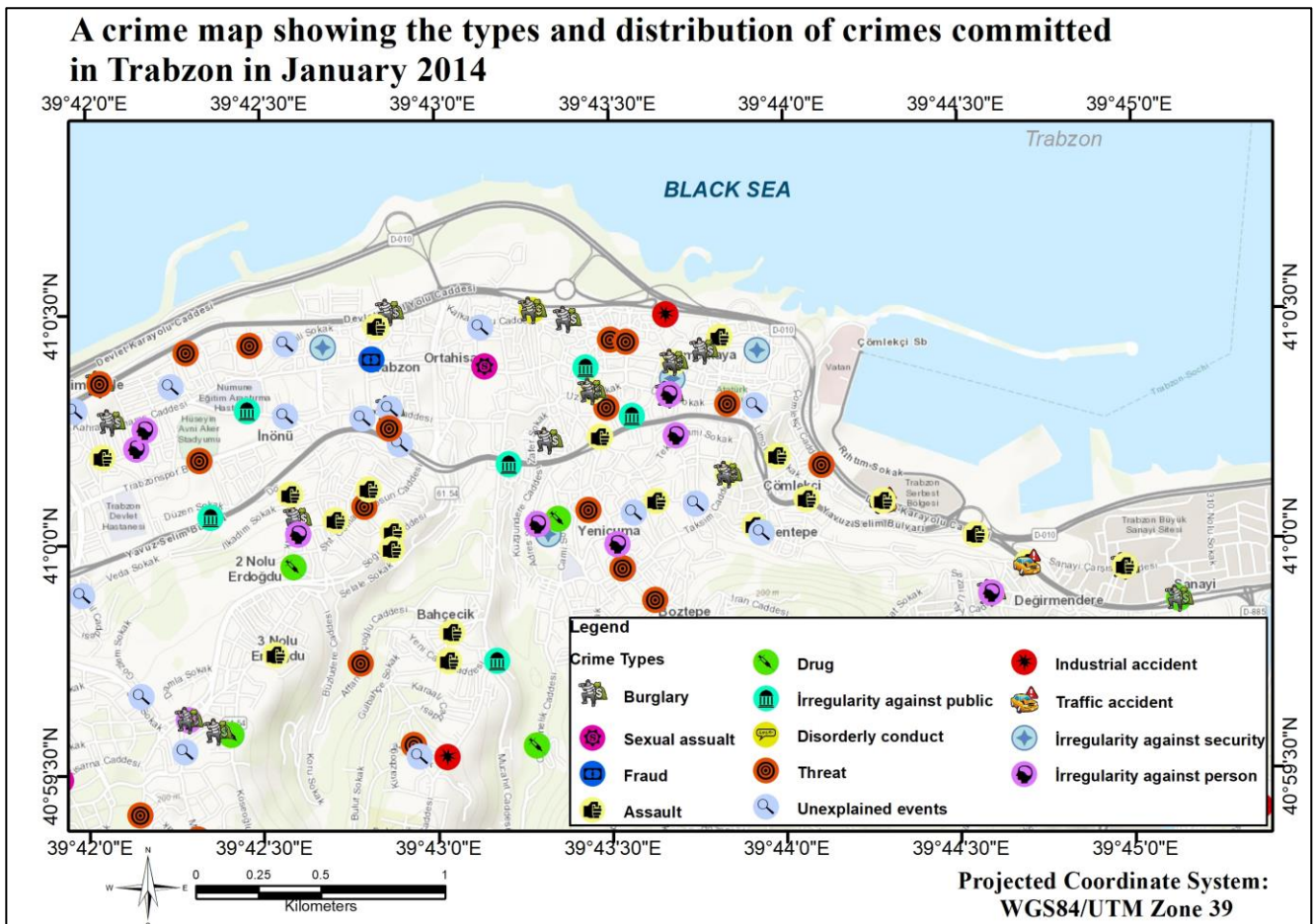


Figure 2: Symbolic representation of crime types on January, 2014

3. Results and Discussions

3.1 Spatial Distribution Mapping of All Crime

In this section, spatial crime analysis was applied, and result map are presented in Figure 3. The KDE analysis method was used to determine and map the spatial distribution analysis of all crime events. KDE analysis yields efficient results and the crime mapping presentation obtained as a result of the analysis facilitates the understanding of complex spatial events.

In this context, the KDE analysis of all crimes between 2011 and 2015 was calculated. In KDE analysis, radius value was determined as 200 meters. In the KDE method, a radius is determined for each point and a circular area is drawn around this point. Since density is determined by the number of points inside these circles, it is very important to determine the radius correctly. The distances between crime points were statistically analyzed in ArcGIS software. As the result of the analysis, the expected average distance between crime points was determined as 200 meters. For this reason, 200 meters was selected as the radius for KDE analysis. In the KDE analysis, the grid cell size was chosen as 20×20 meters in accordance with the size of the study area and the data. This map helps us identify where the crime events are of higher or lower density, after calculating Kernel's interpolations. This thematic presentation allows us for interactive visual analysis of crime density and intuitive criminology research.

The crime density zones are visible as cluster on the map. According to Figure 3, the nearest zone of Kemer kaya neighborhood has the highest crime rate. This zone is city center of Trabzon, visited by many people during the day, closes to the main transport lines and has many commercial buildings. The second neighborhood with a high crime rate that follows this neighborhood is the Cömleki neighborhood. Figure 3 also shows that the lowest crime rate zones are Besirli No. 1, Kanuni and Bostancı No. 1 neighborhoods in the city.

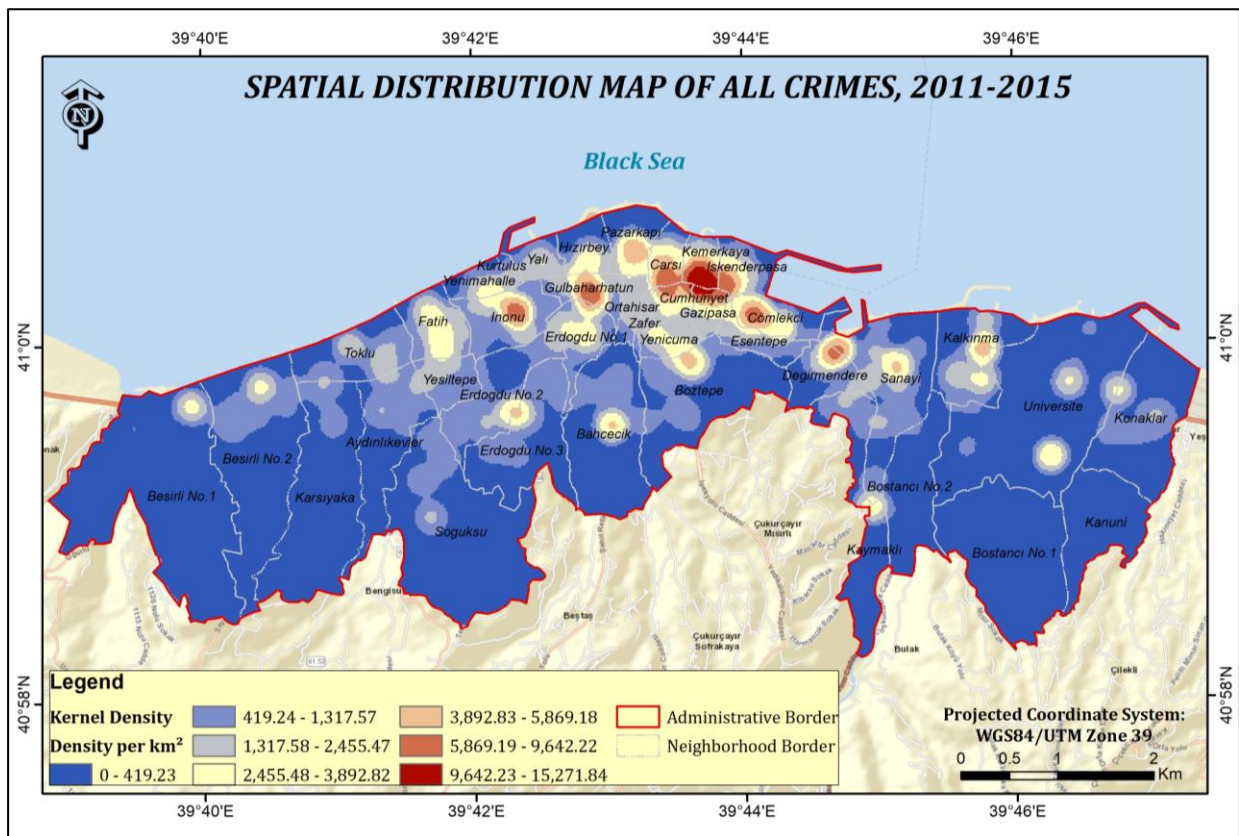


Figure 3: Spatial distribution map of all crime, 2011-2015

Figure 4 shows the temporal distributions of crimes by seasonally are shown for important four crime types. When the highest crime rate is investigated seasonally, drug and sexual abuse crime rates are the highest in winter, burglary crime rate is highest in spring and assault crime rate is highest in summer. Depending on the type of crime, the seasons of high crime rates have changed. It should be noted that the total number of assault crimes is almost constant for entire study area in all seasons.

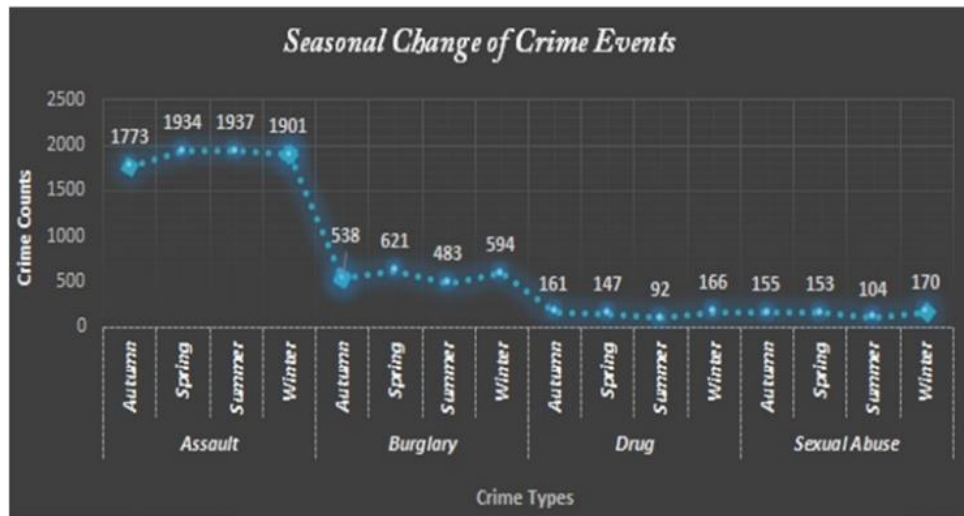


Figure 4: Seasonal change of crime counts for assault, burglary, drug, and sexual abuse

3.2 Cartography of Crime – Hexagon Grid Mapping of Crime Density

Cartographical representation and density mapping techniques enable quick understanding of cluster patterns. Hexagon grid mapping technique was used for visualization of spatial and temporal trends of criminal activity. In this study, burglary and assault crimes were selected for analyses because these two types of crime are the most intense in the area of study. Before starting the density analysis, aggregated crime counts by space and time. The assault and burglary crime were summarized by aggregating points in space-time bins. Three months were chosen for the time step interval. One month, two months, three months, and four months were tried as time interval. For each of these four time intervals, it was checked how many hexagon grid locations. The space-time cube aggregated in 2225 points. As a result, 3 months was chosen by examining which time interval gave more statistically significant results over time. 150 meters were chosen for distance interval. 100 meters, 150 meters and 200 meters were tried as distance interval. For each of these three distance intervals, it was checked how many hexagon grid locations. The space-time cube aggregated in 2225 points. As a result, 150 meters was chosen by examining which distance interval gave more statistically significant results.

Space-time cube by aggregating points was created on hexagon grid format. Hexagon format (the polygon bin) was selected because they are preferred in the analysis that includes aspects of connectivity or movement paths (Pobuda, 2018). These parameters affect the number of bins and the size of each bin. These aggregate points were used for analysis where statistically significant clusters of assault and burglary crime are occurred, that are called hotspot analysis. The maps are presented in Figure 5 (a) and burglary crime in Figure 5 (b). For visualization of the two group crimes, the value of the neighborhood time step was set to twenty-time step interval by default and spatial neighbors was set to each bin have at least 50 neighbors.

As a result of burglary crime, the space-time cube has aggregated 2225 points into 2150 hexagon grid locations. Of the 2150 total locations, 420 of them (19.50%) contain at least one point for at least one-time step interval. These 420 locations comprise 8400 space-time bins of which 1537 of them (18.30%) have point counts greater than zero. There is a statistically significant increase in point counts over time.

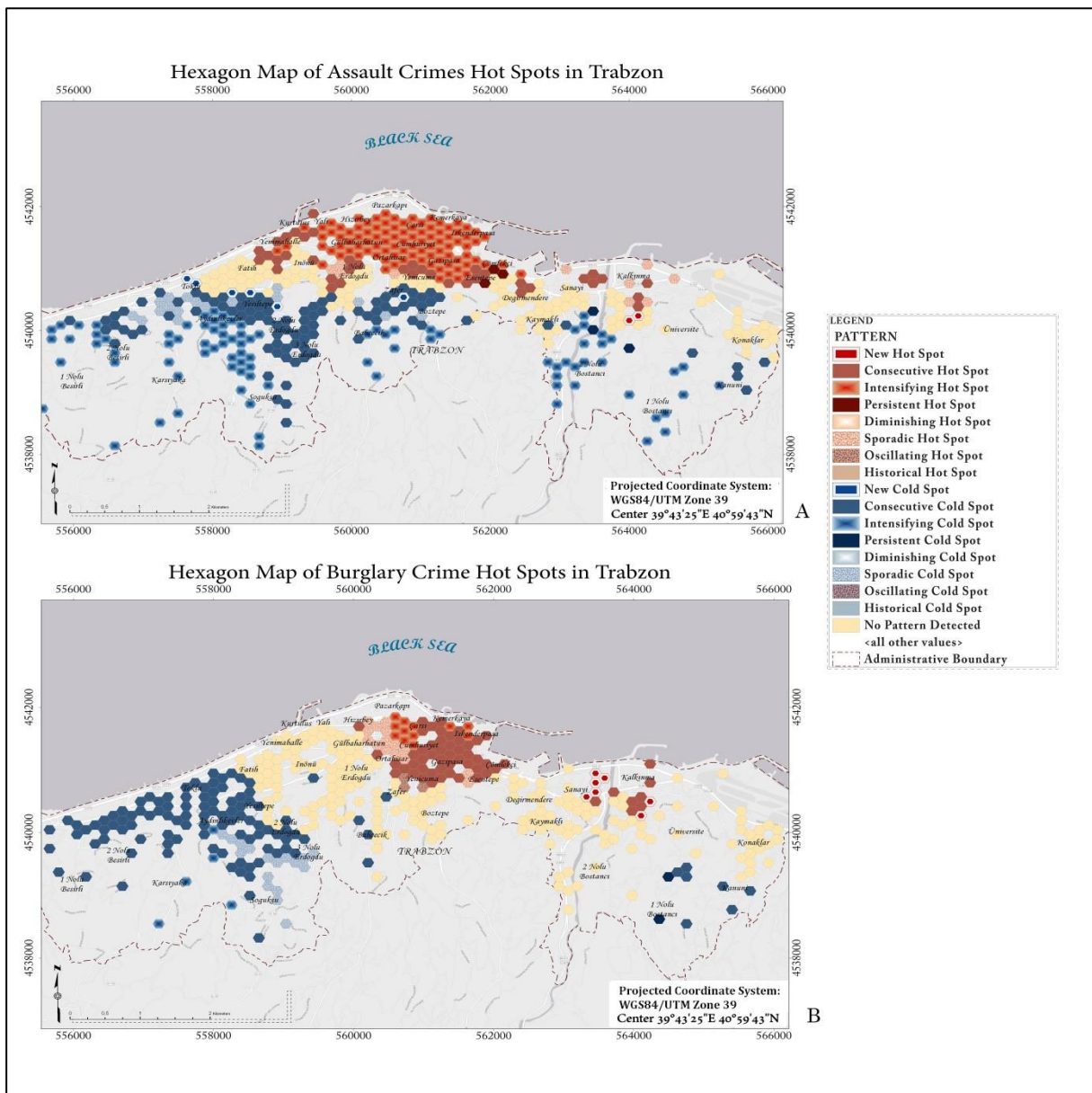


Figure 5: (a) Hexagon map of burglary crime hotspots in Trabzon between 2011 and 2015 (b) Hexagon map of assault crime hotspots in Trabzon between 2011 and 2015

On the other hand, for assault crime the space-time cube has aggregated 7499 points into 1850 hexagon grid locations. Of the 1850 total locations, 457 of them (24.70%) contain at least one point for at least one-time step interval. These 457 locations comprise 9140 space-time bins of which 1537 of them (34.69%) have point counts greater than zero. There is not a statistically significant increase or decrease in point counts over time.

These maps were created on a scale of 1/50 000. These maps show statistically significant hot and cold spots. Red areas suggest that there has been clustering of high numbers of crime, and blue areas indicate that over time there has been clustering of low numbers of crime. Each location is categorized based on the trends in clustering over time. As a result of hotspot analysis, 229 of 420 locations are determined hot or cold spot trends for burglary crime while 369 of 489 locations are determined hot or cold spot trends for assault crime.

The locations of the dark red, which are called persistent hotspot; light red with beige outline, that are called intensifying hotspots. The locations of dark red bins do not show a significant increase or decrease in the intensity of clustering of burglary

and assault crime counts over time. However, the locations of light red bins where the intensity of clustering of these crime counts is increasing over time. This increase is statistically significant and this significant increase in crime counts includes more areas for assault than burglary crime.

The locations of the dark blue, which are called persistent coldspots; light blue with beige outline, that are called intensifying coldspots. The locations of dark blue bins are areas where crime is statistically and persistently less widespread. However, clusters of low crime counts in light blue outlined bins are becoming more intense over time (the coldspots are getting colder) for assault and burglary crime.

4. Conclusion

Cartographic representation of crime phenomena in spatio-temporal principles is important and necessary for criminal studies. This kind of presenting facilitates the understanding of complex space events and relationships between space and events. The main condition for producing a good crime map is the selection of suitable spatial analyses for crime data and the comprehensibility of cartographic representations. Crime analysis and maps help police authorities to develop predictive policing strategies and decrease crime rates.

In this study, a spatial database model was designed to criminal events. The intensity distribution of all crimes was analyzed and mapped using the KDE method in GIS environment. In addition, hotspots of burglary and assault crime that have the highest crime events were presented to identify crime patterns and were shown on the maps. Hexagon grid mapping technique was used for identification of hotspots of these crimes and statistical result outputs were explained. According to the density distribution map result, while the highest crime rate zones are Kemer kaya neighborhood and Comlekci neighborhood, the lowest crime rate zones are Besirli No. 1, Kanuni and Bostancı No.1 neighborhoods in the city. When the seasonal distribution of crime rates is examined, it has been observed that the seasons with high crime rates change depending on the type of crimes. When the hexagon grid maps were examined, there is a statistically significant increase in point counts of burglary crime over time. However, there is not a statistically significant increase or decrease in event counts of assault over time.

One of the main purposes of the paper is the creation of maps and other outputs helping perception of decision makers and people for investigating and understanding crime. More overly, this study is not only a visualization study, but also a study for enhancing the ways to refine the results of GIS-based crime analysis. It is a real-life problem that people or experts sometimes cannot see relations and occurrence reasons of crime events. In this respect, the study offers a good understanding. On the other hand, hexagonal mapping methods bring ways that are more aesthetic for representing crime events. Spatio-temporal crime data can be easily analyzed and represented via GIS-based systems. However, incorporating different advanced analyses and visualization tools into the study may be beneficial for future studies.

While crime data analysis processes may be easier due to the availability of crime databases in developed countries, it is not easy to collect crime data due to the lack of ready-to-use and standardized crime databases in Türkiye. This situation restricts the GIS-based spatial crime studies. Crime data sharing should be facilitated in order to increase and develop studies in this field in Türkiye.

The 3D visualization of crime events also supports understanding of crime distributions and is very useful for third party people. Cartographic techniques used in this study enable a more effective understanding of spatial and temporal distribution of crimes. These techniques can be used productively for the representation of crime events.

Software

The original crime data was received in MS Excel format. Spatial and non-spatial data was collected and maintained in ESRI ArcGIS geodatabase. The mapping and analysis of all crimes were applied using ArcMap 10.4.1. Mapping of hotspots for burglary and assault crimes based on hexagon mapping techniques was applied using ArcGIS Pro. Finally, Adobe Photoshop CC 2018 was used to design the final status of maps and figures.

Author Contribution

Gamze Bediroglu: Conception, Design, Literature review, Data collection, Analysis and interpretation, Writing. **Ebru Colak:** Literature review, Supervision, Review of article.

Declaration of Competing Interests

The authors declare that they have no known relevant competing financial or non-financial interests that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- Aliagaoglu, A., & Cildam, S. Y. (2016). Bandırma Şehrinde Suçlar (2006-2008): Coğrafi Bir Yaklaşım. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(35).
- Beiji, Z., Mohammed, N., Chengzhang, Z., & Rongchang, Z. (2017). Crime hotspot detection and monitoring using video based event modeling and mapping techniques. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 10(1), 962.
- Boba, R. L. (2005). *Crime Analysis and Crime Mapping*. Thousand Oaks, California, Sage Publications.
- Chainey, S., & Ratcliffe, J. (2005). *GIS and Crime Mapping*. Chichester, John Wiley & Sons Inc.
- Chainey, S., Tompson, L., & Uhlig, S. (2008). The utility of hotspot mapping for predicting spatial patterns of crime. *Security Journal*, 21(1), 4-28.
- Eck, J., Chainey, S., Cameron, J., Leitner, M., & Wilson, R. (2005). *Mapping Crime: Understanding Hot spots*. Washington, DC: U.S. Department of Justice, National Institute of Justice.
- Eken, S., & Kumru, P. (2014). Haritalar Üzerinde Suç Verilerinin Görüntülenmesi ve Analizinin Sağlanması: Kocaeli İli Örneği. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 16(1), 67-72.
- Ejemeyovwi, D. O. (2015). Crime mapping using time series analysis in Asaba, Delta State, Nigeria: a remote sensing and GIS approach. *European Journal of Basic and Applied Sciences*, 2(2), 52-71, ISSN: 2059-3058.
- Feng, J., Dong, P., & Song, Y. (2016). A Spatio-Temporal Analysis of Urban Crime in Beijing: Based on Data for Property Crime. *Urban Studies*, 53(15), 3223-3245.
- Gahlin, C., & Johansson, E. (2014). Crime Hotspots: An Evaluation of the KDE Spatial Mapping Technique (Thesis). Blekinge Institute of Technology, Faculty of Computing, Department of Computer Science & Engineering, Karlskrona, Sweden.
- Gayır, B., & Arslan, O. (2018). Orman Yangınlarının CBS Tabanlı Konumsal İstatistik Analizi: 2011-2015 Yılları Arasında Muğla Orman Bölge Sınırları İçerisinde Çıkan Yangınlar. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(1): 44-60.
- Gerber, M. S. (2014). Predicting crime using Twitter and kernel density estimation. *Decision Support Systems*, 61, 115-125.
- Glasner, P., & Leitner, M. (2017). Evaluating the Impact the Weekday Has on Near-Repeat Victimization: A Spatio-Temporal Analysis of Street Robberies in the City of Vienna, Austria. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(3).
- Gupta, R. Rajitha, K., Basu, S., & Mittal, S. K. (2012). Application of GIS in Crime Analysis: A Gateway to Safe City. *Proceedings of the 14th Annual International Conference and Exhibition on Geospatial Information Technology and Applications*, India.
- Gurbuz, M., & Karabulut, M. (2007). Adana Beş Ocak Polis Karakolu Sorumluluk Bölgesinde Çocuk Suçlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri

- ile Haritalandırılması ve Analizi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(1), 331-346.
- Gurbuz, M., Karabulut, M., & Temir, Ö. (2013). Kayseri’de Oto ve Otodan Hırsızlık Suçlarının CBS ile Haritalandırılması ve Analizi. *KSÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1).
- Gwinn, S. L., Bruce, C., Cooper J. P., & Hick, S. (2008). *Exploring Crime Analysis: Readings on Essential Skills (2nd ed)*. Overland Park, KS: International Association of Crime Analysts.
- Hajela, G., Chawla, M., & Rasool, A. (2021). Crime hotspot prediction based on dynamic spatial analysis. *Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)*, 43(6), 1058-1080.
- Hart, T. C., & Zandbergen, P. A. (2014). Kernel density estimation and hotspot mapping: Examining the influence of interpolation method, grid cell size, and bandwidth on crime forecasting, *Policing An International Journal of Police Strategies and Management*, 37(2).
- Hirschfield, A., & Bowers, K. (2001). *Mapping and analysing crime data*. London and New York, Taylor & Francis.
- Hu, Y., Miller, H. J., & Li, X. (2014). Detecting and analyzing mobility hotspots using surface networks. *Transactions in GIS*, 18(6), 911–935.
- Hu, Y., Wang, F., Guinc, C., & Zhub, H. (2018). A spatio-temporal kernel density estimation framework for predictive crime hotspot mapping and evaluation. *Applied Geography*, 99, 89–97.
- International Association of Crime Analysts (IACA) Standards, Methods, & Technology (SMT) Committee. (2013). Identifying High Crime Areas (White Paper 2013-02), Overland Park, KS: Author.
- Kalinic, M., & Krisp, J. M. (2018). Kernel Density Estimation (KDE) vs. Hot-Spot Analysis - Detecting Criminal Hot Spots in the City of San Francisco. *Proceedings of the 21st Conference on Geo-information Science*, Lund, Sweden.
- Kumar, G. R. P., & Somashekar, R. K. (2012). GIS Based Crime Mapping and Analysis: A Case Study of Mudugiri Town Police Station Jurisdiction, Tumkur District, Karnataka, India. *GIS crime mapping and analysis*, 1(1).
- McCullagh, M. J. (2006). *Detecting Hot spots in Time and Space*. ISG06.de Smith MJ.
- Mohler, G. (2014). Marked point process hot spot maps for homicide and gun crime prediction in Chicago. *International Journal of Forecasting*, 30, 491-497.
- Paynich, R., & Hill, B. (2010). *Fundamentals of Crime Mapping*. Sudbury, MA: Jones and Barlett.
- Pobuda, M. (2018). *Analyze Crime Using Statistics and the R-ArcGIS Bridge*. <https://learn.arcgis.com/en/projects/analyze-crime-using-statistics-and-the-r-arcgis-bridge/lessons/install-the-r-arcgis-bridge-and-start-statistical-analysis.htm> (Accessed: 25 October 2021).
- Ratcliffe, J. H. (2004). The hotspot matrix: A framework for the spatio-temporal targeting of crime reduction. *Police practice and research*, 5(1), 5-23.
- Turkish Statistical Institute (TÜİK) (2021). Statistics Data Portal.
- Wang, X., Gerber, M. S., & Brown, D. E. (2012). Automatic crime prediction using events extracted from twitter posts. In *International conference on social computing, behavioral-cultural modeling, and prediction* (pp. 231-238). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Wolff, M., & Asche, H. (2019). A 3D Geovisualization Approach to Crime Mapping. *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference*, Santiago, Chile.

Jeodezik ağlarda kaba hatanın bilinmeyen olarak modellenmesi

Utkan Mustafa Durdağ^{1*} 

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye.

Öz: Uyuşumsuz ölçülerin tespitinde sıklıkla kullanılan Baarda ve Pope yöntemlerinde kaba hatalar toplam yanlışlık (additive bias) modeliyle kestirilmektedir. Geleneksel yöntemin aksine uyuşumsuz ölçüler ek bilinmeyen olarak modellenebilmektedir. Bu yaklaşımda bütün ölçülere kuşku bakılmaktadır. Bu nedenle olası bütün kombinasyonların hesaba katılması önem arz etmektedir. Ağdaki ölçü sayısı kadar (n elemanlı) kümeden meydana gelmesi muhtemel en yüksek kaba hata sayısına kadar olan kombinasyonların değerlendirilmesi temeline dayanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, kaba hatanın bilinmeyen olarak modellenmesi yaklaşımını jeodezik ağlarda uygulamak ve farklı dağılımlara ait karşılaştırma değerleriyle elde edilen sonuçların güvenilirliğini değerlendirmektir. Geleneksel ve önerilen yaklaşımların gizleme ve batma etkisi senaryolarında da etkinlikleri araştırılmıştır. Bu amaçla; bir jeodezik nivelman ağı simüle edilerek küçük genlikli kaba hataların tespit edilmesine ait ortalama başarı oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kaba hatanın bilinmeyen olarak modellenmesi yaklaşımı geleneksel yöntemlere nazaran yaklaşık %30-40 daha güvenilirdir. Önerilen yöntemde kullanılan üç farklı dağılımdan standart normal dağılım ve Tau dağılımı en yüksek başarı oranına sahiptir. Bununla beraber gizleme ve batma etkisi senaryolarında hem geleneksel hem de önerilen yaklaşıma ait sonuçların yanıltıcı olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kaba Hata, Bilinmeyen parametrelerin modellenmesi, Güvenirlik, Test istatistiği

Modeling outliers as unknown in geodetic networks

Abstract: In the Baarda and Pope methods, frequently used to detect outliers, the total bias additive model estimates the outliers. Unlike the traditional method, outliers can be modeled as additional unknowns. With this approach, all observations are viewed as suspicion. It is, therefore, essential to consider all possible combinations. It is based on evaluating the combinations from the number of observations in the network (n elements) to the highest possible number of outliers that can occur. This study aims to apply the approach of modeling the outliers as unknown in the geodetic network and to evaluate the results' reliability with the comparison values from different distributions. Also, the effectiveness of traditional and proposed approach in the masking and swamping effect scenarios were investigated. For this purpose, mean success rates for detecting small magnitude outliers were calculated by simulating a geodetic leveling network. According to the results, modeling the outliers as unknown is approximately 30-40% more reliable than traditional methods. Among the three distributions used in the proposed method, the standard normal distribution and Tau distribution have the highest success rates. Additionally, it has been noticed that both the conventional and proposed methods produce misleading outcomes in cases involving swamping and masking effects.

Keywords: Outlier, Modelling of unknown parameters, Reliability, Test statistics

1. Giriş

Jeodezik ölçmelerde aletin okunması, hedefe tatbiki veya ölçülerin kaydedilmesi esnasında yapılan yanlışlıklar sonucunda kaba hatalar ortaya çıkabilir. Bu hataların, ölçümler her ne kadar tekrarlı yapılırsa yapılsın, sonuçlara yansımaları kaçınılmazdır. Kaba hatalı ölçünün varlığı deformasyon, heyelan, yer kabuğu hareketleri gibi jeodezik uygulamalara ait kestirim sonuçlarına yayılarak sonuçların yanlış yorumlanmasına sebep olabilir. Bu sebeple, kaba hataların tespit edilmesi ve ölçü kümesinden dışlanması gerekmektedir. Kaba hataların tespit edilmesinde geleneksel yöntemler sıklıkla başvurulan yöntemlerin başında gelir. Geleneksel Baarda testi (Baarda, 1968) ve Pope testi (Pope, 1976) En Küçük Kareler (EKK) ilkesine dayanır. Robust M-kestirim yöntemleri (Hampel, 1968) ise iteratif EKK şeklinde uygulanmaktadır. Ancak EKK yöntemi model varsayımlarından sapmalara oldukça duyarlıdır (Erdoğan, Hekimoğlu, Durdağ, & Öcalan, 2019; Hampel, Ronchetti, Rousseeuw, & Stahel, 1986). Örneğin; sadece bir uyuşumsuz ölçü dahi, örneklem ortalaması ve örneklem standart sapması gibi klasik istatistikler üzerinde sınırsız bir etkiye sahiptir (Hampel vd.,1986; Maronna, Martin, & Yohai, 2006). Rousseeuw ve Leroy (1987) tarafından sadece bir uyuşumsuz ölçünün, EKK'nin sonuçlarını bozacağı ve n sonlu örneklem için gözlem sayısı iken, kırılma noktasının $1/n$ 'ye eşit olduğu belirtilmiştir. Diğer bir deyişle örnekleme bulunan bir kaba hata değeri sonsuza gittikçe etki fonksiyonu da sonsuza gitmektedir (Durdağ, Hekimoğlu, & Erdoğan, 2022). Buna ilaveten birçok istatistiksel yöntem bir kaba hatanın belirlenmesinde başarılı sonuçlar vermesine karşın birden çok kaba hatanın ortaya çıktığı durumlarda yetersiz kalabilmektedir (Hekimoğlu & Koch, 2000; Xu, 2005). Ancak eğer ölçüler arasında korelasyon varsa örnekleme tek bir kaba hata dahi yanlış ölçünün kaba hatalı tespit edilmesine neden olabilir (Hekimoğlu, Erdoğan, Soycan, & Durdağ, 2014). Buna ek olarak Baselga (2007) önsel varyansın bilinmediği durumda geleneksel yöntemle (Pope testi) ağda yalnızca bir kaba hatanın belirlenebileceğini göstermiştir. Bunun yanı sıra; birden fazla kaba hatalı ölçü, gizleme ve batma etkisine neden olmaktadır. Karar aşamasında, batma ve gizleme etkisine maruz kalan ölçüler birinci tip hata (yanlış negatif) ve ikinci tip hata (yanlış pozitif) olarak ortaya çıkabilir. Durdağ vd. (2022) tarafından ortaya çıkan bu tip hatalar EKK'nin yayma etkisi olarak ifade edilerek etki fonksiyonu ile ilişkilendirilmiştir. Aynı çalışmada jeodezik ağda yayma etkisinin kısmi redündan bir fonksiyonu olarak sistematik şekilde davrandığı gösterilmiştir.

Geleneksel yöntemler; uyuşumsuz ölçünün toplamsal kaba hata modeline dayalı olarak standartlaştırılmış düzeltme değeri elde edilerek sınır değerle karşılaştırılması temeline dayanmaktadır. Ancak istatistikte kaba hatanın ek bilinmeyen olarak modellendiği yöntemin geleneksel yöntemle kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiği Hekimoğlu, Erdoğan ve Erenoğlu (2015) tarafından doğrusal regresyon için kanıtlanmıştır. Bilindiği üzere bir analizden önce hangi ölçünün kaba hatalı olduğu ile alakalı herhangi önsel bilgiye ulaşmak imkansızdır. Bu nedenle ölçülerin hepsi potansiyel kaba hatalı ölçü adayları olarak ele alınmalıdır. Ayrıca bu yöntemde yinelemeli araştırma ile olası bütün kombinasyonların değerlendirilmesi dikkate alınmaktadır. Genel anlamda n ölçü sayısı ve k kaba hata sayısı iken C_k^n olası kombinasyonları dikkate alınmalıdır. İlk olarak bir kaba hatanın araştırıldığı durumda C_1^n kombinasyonu dikkate alınır ve aralarındaki en küçük varyansa sahip ölçüye ait bilinmeyen değeri sınır değerle karşılaştırılır. Daha sonra C_2^n için ikili kombinasyona ait model sonuçları arasından yine en küçük varyansa sahip olan ölçü ikilisi seçilerek bunlara ait bilinmeyenler sınır değerle karşılaştırılır. Bu işlem olası bütün kombinasyonlar için tekrarlanır. Geleneksel yöntemlerde yapılan tekrarlı kaba hata araştırmasında bulunan kaba hatalı ölçü, veri kümesinden atılarak bir sonraki araştırmaya geçilir. Ancak burada bir önceki kombinasyonda işaretlenen kaba hatalı ölçü sonraki kombinasyonlarda dikkate alınmaz. Esas olarak tek başına kaba hatalı gibi davranan bir ölçünün ikili kombinasyonda ortaya çıkmaması olasılığı dikkate alınmaktadır. Bir jeodezik ağda belirlenebilecek maksimum kaba hatalı ölçü sayısı serbestlik derecesinin yarısı ($m \cong f/2$) kadardır (Hekimoğlu vd., 2015). Böylece n (ölçü sayısı) elemanlı kümeden maksimum m elemanlı kombinasyon ($C_1^n, C_2^n, \dots, C_m^n$) dikkate alınmalıdır. Analizlerde kritik değeri aşan bilinmeyenler, her kombinasyon aşaması için potansiyel kaba hata olarak işaretlenir. İlk olarak ölçüler tek tek bilinmeyen olarak modellenir, en

küçük varyansa sahip olanı seçildikten sonra test değeri sınır değerle karşılaştırılır. Eğer test değeri sınır değerden küçükse analiz sonlandırılır, büyükse ilgili ölçü işaretlenir ancak birden fazla kaba hatalı durum olması ihtimali göz önüne alınarak ikinci aşamaya geçilir. Bu aşamada ölçülerin ikişerli şekilde bilinmeyen olarak modellenmesi için n elemanlı ölçü kümesinden 2 elemanlı kombinasyonları dikkate alınır. Tekrar en küçük varyansa sahip ikili ölçü tespit edildikten sonra her birine ait test değeri sınır değerle karşılaştırılır. Eğer en az birisinin test değeri sınır değeri geçemezse analiz sonlandırılır ve bir önceki adımda işaretlenen ölçü kaba hatalı olarak tespit edilir. Ancak iki test değeri de sınır değeri geçerse ilgili ölçüler işaretlenerek üçüncü aşamaya geçilir. Burada ölçülerin üçerli şekilde bilinmeyen olarak modellenmesi için n elemanlı ölçü kümesinden 3 elemanlı kombinasyonları dikkate alınır. Üçlü kombinasyonda en küçük varyansa sahip üçlü ölçüden bir ölçü bilinmeyi bile kritik değer altında kalırsa alternatif hipotez reddedilir ve bir önceki aşamada işaretlenen adaylar kaba hatalı ölçü olarak tespit edilmiş olur. Bu çalışmada önerilen yaklaşımın güvenilirlik sonuçları farklı test istatistikleri için karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır. Önerilen yaklaşımın jeodezik ağda farklı test istatistikleri ile kullanılabilirliği ve geleneksel yöntemle göre ne derece başarılı olduğu sorularına cevap aranmıştır. Bununla beraber batma ve gizleme etkilerinin hem geleneksel hem de önerilen yöntemlerdeki tepkisi araştırılmıştır. Ancak batma ve gizleme etkileri geleneksel yöntemlerde olduğu gibi önerilen yöntemde de ağın geometrik yapısının zayıflığından faydalanarak ortaya çıkmaktadır.

2. Dengelemenin Matematiksel Modeli

Gauss Markov modeli doğrusallaştırılmış fonksiyonel model ve stokastik model ile,

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{l} \quad (1)$$

$$\mathbf{C}_{11} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{11} = \sigma_0^2 \mathbf{P}^{-1} \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada, \mathbf{v} ölçülere getirilecek düzeltmeler vektörünü, \mathbf{A} katsayılar matrisini, $\hat{\mathbf{x}}$ kestirilmiş küçültülmüş bilinmeyenler vektörünü, \mathbf{l} küçültülmüş ölçüler vektörünü, \mathbf{C}_{11} ölçülere ait varyans-kovaryans matrisini, σ_0^2 ise önsel varyansı, \mathbf{Q}_{11} ölçülerin ağırlık katsayıları (kofaktör) matrisini ve \mathbf{P} ölçülerin ağırlık matrisini temsil etmektedir. EKK düzeltmelerin ağırlıklı karelerini minimum ($\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min$) yapma ilkesine (Grossmann, 1969; Koch, 1999) dayanarak fonksiyonel ve stokastik modele ait normal denklemler,

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad (3)$$

eşitliğiyle verilmektedir. En uygun yansız kestirici olarak ifade edilen (Gauss, 1823, s.21; Koch, 1999, s.153; Markov, 1912, s.218) EKK yönteminin bilinmeyenler vektörü,

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Q}_{xx} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad (4)$$

olmak üzere bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları (kofaktör) matrisi $\mathbf{Q}_{xx} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}$ eşitliğiyle elde edilir. Düzeltmelerin ağırlık katsayıları matrisi ve birim ağırlıklı ölçünün sonsal standart sapması sırasıyla,

$$\mathbf{Q}_{vv} = \mathbf{P}^{-1} - (\mathbf{A} \mathbf{Q}_{xx} \mathbf{A}^T)^{-1} \quad (5)$$

$$s_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{f}} \quad (6)$$

eşitlikleriyle hesaplanır. Burada f serbestlik derecesini ifade etmektedir (Koch, 1999).

2.1 Uyuşumsuz Ölçü Testi

Ölçülerin normal dağılımlı olması beklenmesine rağmen, aykırı değerlerin tespit edilmesi için ölçülerin farklı bir dağılımdan geldiği varsayımı dikkate alınmalıdır. Çünkü tespit edilmeyen kaba hata(lar) bilinmeyen vektörüne, düzeltme vektörüne ve sonsal varyans gibi birçok kestirim parametresine yayılım gösterir. Bu sebeple kaba hatalı ölçülerin tespiti ve dengeleme hesabından dışlanması, sonuçların güvenilirliği açısından önem arz etmektedir. Jeodezi’de uyuşumsuz ölçülerin tespitinde kullanılan varyans faktörüne ve dağılımına bağlı olarak değişen yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en sık kullanılan iki yöntemden ilki olan Baarda yönteminde (Data-Snooping), önsel standart sapmayla σ_0 birlikte,

$$w_i = \frac{|v_i|}{\sigma_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \quad (7)$$

eşitliği kullanılarak test büyüklüğü elde edilir (Baarda, 1968). Burada $q_{v_i v_i} = (\mathbf{Q}_{vv})_i$ olarak yazılır. Eğer en büyük standartlaştırılmış düzeltme değeri sınır değerden büyük ($w_i > z_{(1-\alpha/2)}$) ise, ilgili ölçü kaba hatalı olarak kabul edilir. Burada $z_{(1-\alpha/2)}$ standart normal dağılımın tablo değeridir ve α için 0.001 seçilir. İkinci olarak Pope yönteminde, eğer σ_0^2 önsel varyansı için güvenilir bir değer alınamıyorsa, kaba hatalardan muhtemelen etkilenmiş s_0^2 sonsal varyans değeri kullanılarak τ (Tau) dağılımlı test büyüklüğü,

$$T_i = \frac{|v_i|}{s_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır (Pope, 1976). En büyük studentleştirilmiş düzeltmeye sahip gözlem seçilir ve sınır değerle karşılaştırılarak test edilir. Sınır değer $\tau_{f,1-\alpha_0/2}$ olmak üzere, burada f serbestlik derecesini, n ölçü sayısını göstermektedir. Ayrıca α yanılma olasılığı iken $\alpha_0 = \alpha/n$ olarak hesaplanır. Eğer seçilen test büyüklüğü sınır değerden büyükse ($T_i > \tau_{f,1-\alpha_0/2}$) ilgili ölçü kaba hatalı olarak kabul edilir. Gözlemlerin birden fazla uyuşumsuz ölçü içermesi ihtimaline karşın testler yinelemeli olarak kullanılır. Kaba hatalı ölçü gözlemden dışlanarak kalan ölçülerle yeniden dengeleme yapılır. Uyuşumsuz ölçü bulunmayınca kadar bu işlem tekrarlanır. Bununla beraber EKK yöntemine alternatif olacak Kaba Hatanın Bilinmeyen Olarak Modellenmesi (KHBOM) bir sonraki başlıkta sunulacaktır.

3. Kaba Hatanın Bilinmeyen Olarak Modellenmesi

Eşitlik 1’de verilen Gauss Markov modeli, ek bilinmeyen parametreleri barındıran vektör $\hat{\mathbf{e}}$ ve tasarım matrisi \mathbf{M} ile aşağıdaki şekilde genişletilir:

$$\mathbf{l} + \mathbf{v} = [\mathbf{A} \ \mathbf{M}] \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}} \\ \hat{\mathbf{e}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_{ll} = \sigma^2 \mathbf{P}^{-1} = \sigma^2 \mathbf{Q}_{ll} \quad (9)$$

burada σ^2 genişletilmiş modele ait birim ağırlıklı varyansı, $\hat{\mathbf{e}}$ modellenen kaba hata vektörünü temsil etmektedir. Eğer, $j = 1 \dots n$ iken l_j ölçüsünde bir adet Δ_j kaba hata ortaya çıkarsa, $\hat{\mathbf{e}} = \Delta_j$ olmak üzere $\mathbf{e}_j = [0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0]^T$ ve $\mathbf{M} = \mathbf{e}_j$ şeklinde yazılabilir. Bu durumda \mathbf{e}_j vektöründe j bileşeni bir değerini alır. Ayrıca \mathbf{A} matrisindeki j ölçüsüne ait satır vektörü \mathbf{A}_j olmak üzere $\mathbf{A} = [\mathbf{A}_1, \dots, \mathbf{A}_j, \dots]^T$, ölçü eşitliği,

$$\mathbf{l}_j + \mathbf{v}_j = \mathbf{A}_j^T \hat{\mathbf{x}} + \hat{\Delta}_j \quad (10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Arda kalan ölçüler ($k = 1, 2, \dots, n$) ve $k \neq j$ için $\mathbf{l}_k + \mathbf{v}_k = \mathbf{A}_k^T \hat{\mathbf{x}}$ eşitliği yazılabilir. Birden fazla kaba

hatalı ölçü varsa,

$$\hat{\boldsymbol{\epsilon}} = [\hat{\Delta}_j, \hat{\Delta}_{j+1}, \dots, \hat{\Delta}_t]^T, \quad \mathbf{M} = [\mathbf{e}_j, \mathbf{e}_{j+1}, \dots, \mathbf{e}_t]^T \quad (11)$$

halini alır. Eşitlik 9'da verilen model Koch (1999) tarafından ayrıcalıklı Gauss-Markov modeli, Cook ve Weisberg (1982) tarafından ortalama kaydırma modeli olarak tanımlanmıştır. Genişletilmiş modelin ek bilinmeyen parametreler kestirimi:

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}} \\ \hat{\boldsymbol{\epsilon}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} & \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{M} \\ \mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{A} & \mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{M} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \\ \mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \end{bmatrix} \quad (12)$$

olmak üzere, burada;

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} & \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{M} \\ \mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{A} & \mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{M} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{E} + \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{M} \mathbf{S} \mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1})^{-1} & -(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{M} \mathbf{S} \\ -\mathbf{S} \mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} & \mathbf{S} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{S} = [\mathbf{M}^T (\mathbf{P} - \mathbf{P} \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}) \mathbf{M}]^{-1} = (\mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{Q}_{vv} \mathbf{P} \mathbf{M})^{-1} \quad (14)$$

açık şekilde yazılabilir. Böylece kestirilmiş kaba vektörü,

$$\hat{\boldsymbol{\epsilon}} = \mathbf{S} \mathbf{M}^T \mathbf{P} (\mathbf{E} - \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}) \mathbf{l} \quad (15)$$

eşitliği kullanılarak elde edilebilir. Eşitlik 1'de verilen Gauss Markov modeli için düzeltmeler,

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{l} = \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} - \mathbf{l} = (\mathbf{E} - \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}) (-\mathbf{l}) \quad (16)$$

eşitliğiyle verilir. Eşitlik 16'nın sağ tarafındaki $(\mathbf{E} - \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}) (-\mathbf{l})$ ifadesi $(-\mathbf{v})$ olarak Eşitlik 15'te yerine yazılırsa,

$$\hat{\boldsymbol{\epsilon}} = \mathbf{S} \mathbf{M}^T \mathbf{P} (\mathbf{E} - \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}) \mathbf{l} = -\mathbf{S} \mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \quad (17)$$

olur. Son olarak Eşitlik 14'te \mathbf{S} açık olarak Eşitlik 17'de yerine konursa ek bilinmeyen parametre vektörü,

$$\hat{\boldsymbol{\epsilon}} = -(\mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{Q}_{vv} \mathbf{P} \mathbf{M})^{-1} \mathbf{M}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \quad (18)$$

ile bulunabilir (Koch, 1999).

3.1 Test İstatistiği Adımları

Tüm ölçülerin aynı normal dağılıma ait olduğunu gösteren sıfır hipotezi ve buna karşın aykırı değerlerin varlığı durumundaki alternatif hipotez,

$$H_0: E\{l\} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} \quad (19a)$$

$$H_A: E\{l\} = [\mathbf{A} \ \mathbf{M}] \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}} \\ \hat{\boldsymbol{\epsilon}} \end{bmatrix} \quad (19b)$$

şeklinde yazılır. Olası alternatif hipotez farklı varyansa ve beklenen değere sahip dağılımdan kaynaklanıyor olabilir. Bu durum doğru alternatif hipotez özelliklerine ulaşmanın uygulamaya bağımlı olduğunu göstermektedir. Öyleyse; alternatif hipotezin doğru tanımlanması için kaba hatalı ölçülerin tüm olası kombinasyonları dikkate alınmalıdır. n gözlem sayısı, b aykırı değer sayısı iken tüm olası alternatif hipotezler C_b^n kombinasyonu ile belirlenir. İlk olarak ölçülerin modelde tek tek

bilinmediği varsayılır. Katsayılar matrisindeki her bir satır için kestirilmiş ek bilinmeyenler $\hat{\epsilon}$ yeniden yazılarak her bir ölçü için tekrarlı olarak hesaplanır. Böylece, her artık değer vektörüne ait birim ağırlıklı varyanslar şu şekilde hesaplanır:

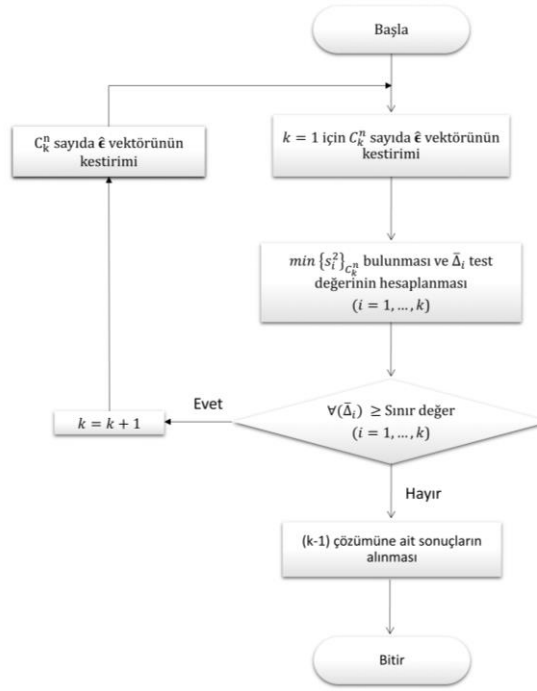
$$\hat{s}_i^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n - u_k}; \quad i = 1 \dots n \quad (20)$$

burada \hat{s}_i^2 sonsal varyansı, $u_k = u + 1$ eşitlik 9'da hesaplanan bilinmeyen sayısını göstermektedir. Hesaplanan sonsal varyans kümesi elemanı C_1^n kombinasyon sayısı kadardır. Sıfır hipotezinin kabul veya reddedilmesinde uygulanacak test adımları aşağıda detaylandırılacaktır. Ölçülerin tek tek modelde bilinmeyen olarak değerlendirilmesi aşaması sonrasında H_0 reddedilirse bu kez ölçüler ikişer ikişer modelde bilinmeyen olarak yer alır. Daha sonra ölçülerin üçerli, dörderli şekilde kombinasyonları aynı koşul göz önüne alınarak araştırmaya devam edilir. Bir jeodezik ağda belirlenebilecek maksimum kaba hatalı ölçü sayısı serbestlik derecesinin ($m \cong f/2$) yarısı kadardır. Böylece bu işlem n elemanlı ölçü kümesinden m elemanlı kombinasyonları C_m^n hesaplanana kadar devam edebilir.

Hekimoğlu vd. (2015) regresyon analizinde test büyüklüğünü ek bilinmeyen değeri Δ_k olarak hesaplayıp sınır değerle karşılaştırmaktadır. Bu çalışmada ise bilinmeyen değer standartlaştırılarak test büyüklüğü hesaplanmıştır. Hangi ölçünün kaba hatalı olduğunu tanılamak için her bir kombinasyon adımına ait en küçük varyansa sahip ölçü(ler) belirlenir. İlgili ölçü veya ölçülere ait standartlaştırılmış bilinmeyen değeri kritik değerle karşılaştırılır. Örneğin bir kaba hata araştırması aşamasında C_1^n kombinasyonu arasından en küçük varyans $\min \{\hat{s}_i^2\} = \hat{s}_k^2$ iken standartlaştırılmış Δ_k değeri sınır değer ile karşılaştırılır. Burada Δ_k için standartlaştırılmış değer $\bar{\Delta}_k = |\Delta_k| / (\hat{s}_k \sqrt{Q_{x_i x_i}})$ eşitliği ile elde edilebilir. Eğer sıfır hipotezi kabul edilirse algoritma işlemi sonlandırılır. Ancak eğer $\bar{\Delta}_k$ değeri sınır değerden büyükse H_0 reddedilir, k ölçüsü kaba hatalı olarak işaretlenir ve model iki potansiyel kaba hatanın var olduğu durum için genişletilir. Katsayılar matrisi bu sefer C_2^n kombinasyonuna ait sonsal varyansları hesaplamak için yeniden yazılır. Burada her bir kombinasyon için yapılan tanılama işlemi birbirinden bağımsız olarak yapılır. Örneğin; n elemanlı ölçü kümesinden iki elemanlı kombinasyona ait kaba hatanın araştırılmasında bir önceki aşamada işaretlenen kaba hatalı ölçü dikkate alınmaz. Daha sonra kombinasyonlar arasından en küçük varyansa sahip iki ölçünün test değerleri ($\bar{\Delta}_i, \bar{\Delta}_j$) $i = 1 \dots n$ ve $j = 1 \dots n$ için $i \neq j$ olmak üzere, kritik değerle karşılaştırılır. Her iki değer de kritik değerden büyükse ilgili ölçüler kaba hatalı olarak işaretlenir. Aynı araştırma, üçlü kombinasyon C_3^n için yapılarak en küçük varyansa sahip üç ölçünün test değerleri sınır değerle karşılaştırılır ve eğer üç değer de kritik değeri aşarsa kaba hatalı olarak işaretlenirler. Bu işlem olası bütün kaba hatalı ölçülerin araştırılmasına kadar her bir kombinasyon adımında tekrar edilir. En küçük varyansa sahip ölçülere ait kaba hata barındıran ek bilinmeyen vektör elemanlarının test değerleri kritik değerle karşılaştırılır. Eğer ilgili test değerlerinden en az bir tanesi bile kritik değeri geçemezse H_0 hipotezi kabul edilir ve bir önceki H_0 hipotezinin reddedildiği adımda işaretlenen ölçüler kaba hatalı olarak kabul edilir. Yöntemin işlem adımlarını gösteren akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir.

EKK yöntemine ve rastgele hatalar kuramına dayalı dengeleme için istatistiksel testlerde yaygın olarak kullanılan bazı tek boyutlu ve sürekli dağılımlar vardır (Kreyszig, 1968). İlk olarak rastgele ölçülerin en yaygın dağılım şekli olan normal dağılım dikkate alınmıştır. Standartlaştırılmış düzeltmelerin karşılaştırılması için istatistiksel testlerde sıklıkla kullanılan güven düzeyleri hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra t-dağılımı $f \rightarrow \infty$ için beklenen değeri $\mu = 0$ ve standart sapması $\sigma = 1$ olacak şekilde standart normal dağılıma dönüşür (Demirel 2003; Schaffrin & Wang, 1994). Pratikte $f \geq 30$ koşulu sağlandığında t-dağılımının standart normal dağılıma yakınsadığı kabul görmektedir. Son olarak Tau-dağılımı ele alınmıştır (Pope, 1976). Her ne kadar büyük ölçü dizileri için üç dağılımın çakışması ve test yöntemlerinin özdeş sonuç vermesi beklense de uygulamada bahsedilen büyük ölçü dizilerinin elde edilmesi hem zaman hem ekonomik açıdan olası değildir. Buna ek olarak yine büyük ölçü dizilerinde 0.001 anlamlılık seviyesi tercih edilmektedir. Ancak güven düzeyinin yüksek olması testin

güçüyle ters orantılıdır.



Şekil 1: KHBOM için akış diyagramı

Bahsi geçen bu üç dağılıma ait standartlaştırma adımları farklı varyans faktörlerine dayanmasıyla farklı güven sınırlarına sahiptir. İlgili güven düzeyleri ve sınırları ilgili nivelman ağı için hesaplanmıştır. Bu değerler KHBOM için ilk iterasyonda hesaplanan güven sınırı değerlerini barındırmaktadır ve her iterasyonda bilinmeyen sayısı, serbestlik derecesi değiştiği için yeniden hesaplanarak analize devam edilmiştir. Bu çalışmada farklı dağılımlara ait karşılaştırma değerleri dikkate alınarak önerilen yöntem ve geleneksel yöntem için başarı oranları karşılaştırılmıştır. Üç dağılım için de iki yanlı en sık kullanılan güven düzeyleri için kritik değerler dikkate alınmıştır.

4. Gizleme ve Batma Etkisi

Kaba hata değeri l^b iken $\bar{\mathbf{I}}$ kaba hatalı ölçü vektörü,

$$\bar{\mathbf{I}} = \mathbf{I}' + \Delta \mathbf{I} \quad (21)$$

olarak elde edilir. Burada $\Delta \mathbf{I}$ kaba hata vektörünü, örneğin $\Delta \mathbf{I} = [0 \dots l^b \dots 0]$, göstermektedir. Ayrıca, $\boldsymbol{\varepsilon}$ normal dağılmış rastgele hatalı ölçü vektörü ile \mathbf{I} hatasız ölçü vektörünün toplamı,

$$\mathbf{I}' = \mathbf{I} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (22)$$

şeklinde yazılabilir. Burada kaba hatalı ölçü vektörü için,

$$\hat{\mathbf{x}}_b = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^+ \mathbf{A}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{I}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^+ \mathbf{A}^T \mathbf{P} (\mathbf{I} + \Delta \mathbf{I}) \quad (23)$$

bilinmeyen vektörü elde edilir. Kaba hatasız durum dikkate alındığında,

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^+ \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}' \quad (24)$$

eşitliği yazılabilir. İki bilinmeyen vektörünün farkı,

$$\Delta \mathbf{x} = \hat{\mathbf{x}}_b - \hat{\mathbf{x}} \quad (25)$$

iken $\Delta \mathbf{l} = \bar{\mathbf{l}} - \mathbf{l}'$ yazılabilir. Böylece;

$$\Delta \mathbf{x} = \mathbf{N}^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \Delta \mathbf{l} = \mathbf{B} \Delta \mathbf{l} \quad (26)$$

şeklinde düzenlenerek yazılabilir. Burada $\mathbf{N}^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} = \mathbf{B}$ olarak ifade edilirse herhangi i . ölçüde ortaya çıkan bir kaba hatanın bilinmeyen parametrelere olan yayma etkisi daha açık şekilde,

$$\Delta x_j = b_{j1} \Delta l_1 + \dots + b_{ji} \Delta l_i + \dots + b_{jn} \Delta l_n \quad (27)$$

formülüyle gösterilebilir. Burada b_{ji} terimi, $i = 1, 2, \dots, n$ and $j = 1, 2, \dots, u$ olmak üzere, \mathbf{B} matrisinin elemanıdır. Buna ilaveten $\bar{\mathbf{v}}$ kaba hatalı, \mathbf{v} kaba hatasız ölçülerden elde edilen düzeltme vektörleri olmak üzere $\bar{\mathbf{v}} = \mathbf{v} + \Delta \mathbf{v}$ olarak yazılabilir (Welsch, Heunecke ve Kuhlmann, 2000, s.230). Böylece,

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{A} \Delta \mathbf{x} - \Delta \mathbf{l} \quad (28)$$

eşitliği elde edilebilir. Projeksiyon veya şapka matrisi $\mathbf{H} = \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}$ olmak üzere,

$$\Delta \mathbf{v} = (\mathbf{H} - \mathbf{E}) \Delta \mathbf{l} = -\mathbf{R} \Delta \mathbf{l} \quad (29)$$

elde edilir. Burada $\mathbf{R} = \mathbf{H} - \mathbf{E}$ redüdens matrisi \mathbf{E} ise birim matrisi temsil etmektedir. Açık şekilde düzeltmeler için yayma etkisi,

$$\Delta v_i = -r_{i1} \Delta l_1 \dots - r_{ij} \Delta l_j \dots - r_{in} \Delta l_n \quad (30)$$

olarak ifade edilir. Sonuç olarak düzeltme vektörüne redüdens kaynaklı sistematik olarak etki eden formül aşağıdaki şekilde gösterilebilir (Durdağ vd., 2022).

$$\bar{\mathbf{v}} = \mathbf{v} + \Delta \mathbf{v} = \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{l}} - \bar{\mathbf{l}} = (\mathbf{H} - \mathbf{E}) \bar{\mathbf{l}} = -\mathbf{R} \bar{\mathbf{l}} \quad (31)$$

Yalnızca bir kaba hatanın belirlenmesi daha kolay olsa da, birden fazla kaba hatanın varlığı batma ve gizleme etkilerinin ortaya çıkmasına neden olur. Komşu iki ölçü kaba hatalı iken birinin genliği diğerine göre daha büyükse gizleme etkisinin çıkması daha olasıdır. Örneğin; Eşitlik 30'un sağındaki ikinci terim, birinci terime göre ters işaretli ise, bu iki terim birbirinden çıkarak kaba hatanın gerçek değerinden daha küçük ortaya çıkmasına yani gizlenmesine sebep olur. Böylece kaba hatalı ölçü kaba hatasız gibi görünür ve belirlenmesi mümkün olmaz. Bu ortaya çıkan durum gizleme etkisi olarak ifade edilmektedir (Hadi & Simonoff, 1993; Hekimoğlu, 2006). Kaba hata belirlenmesinde bir diğer önemli husus da batma etkisidir. Eğer l'_k ölçüsü kaba hatasız iken örneğin; \bar{l}_i ve \bar{l}_j 'li terimler aynı işaretli ise, komşu ölçü l'_k ölçüsünün düzeltmesinin mutlak değeri olduğundan büyük olacak ve kaba hatalı gibi görünecektir (Hekimoğlu, 2006).

Bu çalışmada önerilen modelin batma ve gizleme etkisine karşı ne derece sağlam olacağının incelenmesi amacıyla farklı senaryolar üretilmiştir. Bu amaçla üç farklı etkiye ait senaryo Tablo 1'de gösterilmiştir. İlk olarak "sign" işaret fonksiyonu

kullanılarak kaba hatanın hangi işaret alacağı rastgele seçilmektedir. İşaret fonksiyonu;

$$\text{sign}(t_1) = \begin{cases} +\Delta_j, & t_1 > 0 \\ -\Delta_j, & t_1 \leq 0 \end{cases} \quad (32)$$

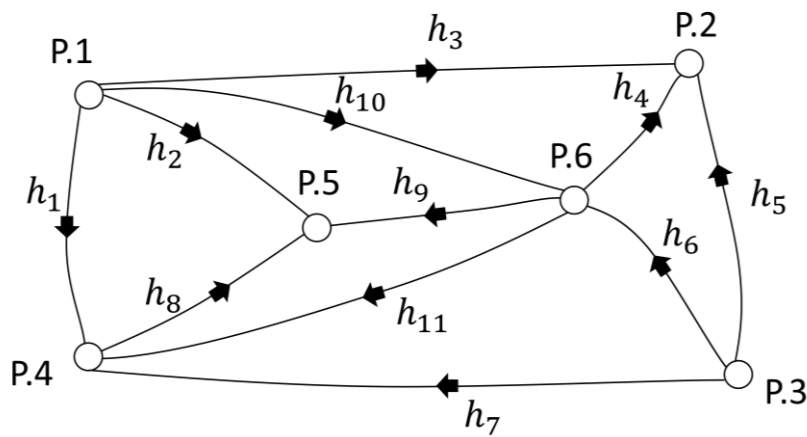
olarak yazılır. Burada t_1 düzgün dağılımlı olmak üzere kaba hata toplamda 5 000 farklı örneklem için rastgele işaretli olarak üretilir. Ancak burada her bir örneklem için; I. İki kaba hatanın aynı işaretli ve II. İki kaba hatanın farklı işaretli üretilmesi senaryoları dikkate alınarak batma ve gizleme etkilerinin geleneksel ve önerilen yaklaşımlar için başarı oranları hesaplanmıştır.

Tablo 1: Gizleme ve batma etkisi senaryoları

Etki Türü	Senaryo
Batma Etkisi	Kaba hatanın aynı işaretli üretilmesi
Gizleme Etkisi	Kaba hatanın farklı işaretli üretilmesi
Rastgele Etki	Kaba hatanın rastgele işaretli seçilmesi

5. Nivelman Ağı Simülasyonu

Geleneksel yöntemlerin ve KHBOM yaklaşımının Ortalama Başarı Oranlarını (OBO) hesaplamak amacıyla jeodezik nivelman ağı simüle edilmiştir. Beklenen değeri sıfır ve varyansı σ^2 olan normal dağılımlı $N(0, \sigma^2)$ rastgele hatalar ε_i ; $i = 1 \dots n$ için üretilmiştir. İyi ve yanlış ölçüler, [Hekimoğlu ve Erenoğlu \(2007\)](#) tarafından ayrıntılı olarak açıklandığı gibi üretilmiştir. Uyuşumsuz ölçüler simülasyon yoluyla üretildiğinden, analizden önce bir gözlemin kaba hatalı olup olmadığı bilinmemektedir. Modelde uyuşumsuz ölçü olarak tespit edilen ölçü, gerçekten kaba hatalı ölçüyle eşleşirse, yöntem başarılı kabul edilir. Eşleşme olmazsa sonuç başarısız sayılır. Rastgele gözlem hataları 100 farklı örneklem ve kaba hata ise 50 farklı örneklem için, küçük genlikli $[3-6\sigma]$ aralıklardan rastgele seçilerek, toplamda 5000 farklı örneklem için OBO hesaplanmıştır. Jeodezik nivelman ağının ölçü sayısı 11 ve bilinmeyen nokta sayısı 6 olarak Şekil 2’de gösterilmiştir. Önsel varyans, $\sigma_i^2 = \sigma_0/\sqrt{S}$ olmak üzere burada, $\sigma_0 = 1\text{mm}/\sqrt{1\text{km}}$ ve S km cinsinden geçki uzunluğudur.



Şekil 2: Nivelman ağı

İstatistikte bir testin ve kestiricinin güvenilirliğini ölçmek için farklı yöntemler bulunmaktadır. [Hekimoğlu ve Koch \(2000\)](#) tarafından kestirici ve testin güvenilirliği sonlu örneklemde kırılma noktası ile belirlenmiştir. [Niemeier \(1985\)](#) tarafından global testin güç fonksiyonu kullanılarak deformasyon ağlarının kapasitesi araştırılmıştır. Testin gücü farklı koşullarda aynı

değere sahip olsa da OBO; gözlem sayısına, kaba hatanın sayısına, büyüklüğüne ve bilinmeyenlerin sayısına bağlı olarak değişebilir. Buna ilaveten, [Erdoğan vd. \(2019\)](#) OBO'nun kaba hata tespitinde testin gücünün deneysel tahmini olduğunu kanıtlayarak, testin gücüne göre daha güvenilir sonuçlar vereceği gösterilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada geleneksel yöntemlerin ve KHBOM yaklaşımının güvenilirliklerinin hesaplanmasında OBO kullanılmıştır. Simülasyon çalışmasındaki toplam deney sayısının Z ve toplam başarılı sonuç sayısının K olduğunu varsayarsak, $OBO=K/Z$ ile elde edilir.

6. Analizler ve Bulgular

KHBOM yaklaşımı için kullanılan yöntemler arasında en yüksek OBO standart normal dağılıma göre test yapıldığı durumda hesaplanmıştır. Bu yöntemde beklendiği gibi güven sınırı yükseldikçe testin gücü düşmektedir. OBO testin gücünün deneysel olarak karşılığına eşittir ([Erdoğan vd., 2019](#)). Bu anlamda standartlaştırılmış ek bilinmeyen parametrelerine ait karşılaştırma değerleri yükseldikçe başarı oranı düşmektedir. Bu durum t-dağılımı için de geçerlilik göstermektedir. Bütün testlerde kaba hata sayısı arttıkça başarı oranının düştüğü gözlenmektedir.

Tablo 2: Geleneksel yöntemlere ait OBO'lar (küçük genlikli kaba hatalar)

<i>m</i>	Baarda	Pope
1	50.64	23.78
2	14.1	0
3	1.68	0

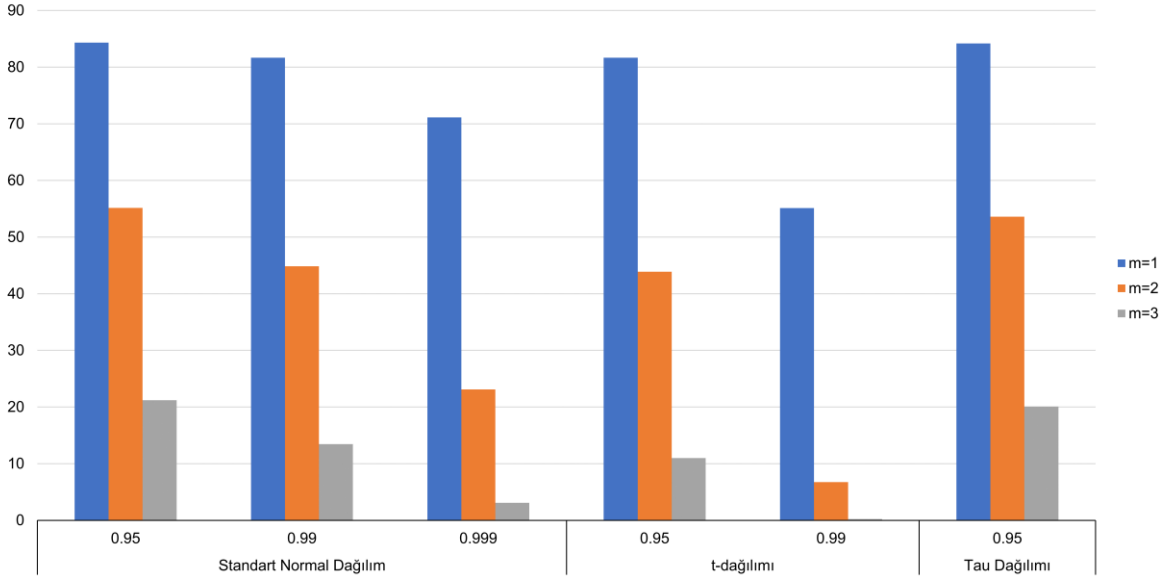
Tablo 2'de geleneksel yöntemlere ait OBO'lar incelendiğinde; önsel varyans faktörünün kullanıldığı Baarda test yöntemi sonuçlarının sonsal varyans faktörüne dayanan Pope testine göre daha etkin sonuçlar verdiği görülmektedir. KHBOM yönteminde olduğu gibi geleneksel yöntemlerde de kaba hata sayısı ile OBO arasında ters orantı gözlenmiştir.

Tablo 3: Farklı olasılık dağılımları için KHBOM yaklaşımına ait OBO'lar (küçük genlikli kaba hatalar)

Olasılık Dağılımı	Güven Düzeyi	<i>m</i> = 1	<i>m</i> = 2	<i>m</i> = 3
Standart Normal Dağılım	0.95	84.32	55.14	21.2
	0.99	81.66	44.84	13.44
	0.999	71.14	23.12	3.1
T-Dağılımı	0.95	81.66	43.88	10.98
	0.99	55.12	6.76	0.22
Tau Dağılımı	0.95	84.18	53.6	20.1

Tablo 3'e bakıldığında KHBOM yaklaşımıyla en yüksek OBO standart normal dağılıma ait güven düzeyi 0.95 iken iki yanlı güven sınırları için elde edilmiştir. Güven düzeyi 0.95 iken standart normal dağılım ve Tau dağılımına ait OBO sonuçları geleneksel yöntemlerden en başarılı olan Baarda ile karşılaştırıldığında bir kaba hatanın var olduğu durumda yaklaşık %30, iki kaba hata için %38 ve üç kaba hata içinse %19 oranlarında iyileşme gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra Şekil 2'ye bakıldığında aslında bir kaba hatalı durum için kullanılan üç dağılıma ait sonuçlarda %80'e yakın ortalama başarı oranı bulunmuştur. Elde edilen bu başarı kullanılan dağılımdan çok kullanılan dengeleme modeline aittir. Aynı dağılıma ait farklı güven düzeylerine göre bir karşılaştırma yapılırsa beklendiği gibi güven düzeyinin yükselmesi model testinin OBO değerlerine düşüş olarak yansımaktadır. Güven düzeyindeki artışla meydana gelen bu düşüş kaba hata sayısının iki ve üç

olmasıyla da ortaya çıkmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: Farklı olasılık dağılımları için KHBOM yaklaşımına ait OBO'lar

Batma ve gizleme etkilerini araştırmak için Şekil 2'deki nivelman ağında 3 ve 5 ölçülerine 4-8σ genlik arasından rastgele kaba hata büyüklüğü seçilerek yüklenmiştir. İlk olarak işaret fonksiyonu rastgele daha sonra aynı ve farklı işaretlerde seçilerek kaba hatalar üretilmiştir. Tablo 4 ve 5'te verilen sonuçlar iki kaba hatalı ölçü üretilmişken Baarda kestirim sonuçlarına göre hiç tespit edilemeyen, bir, iki, üç ve üçten fazla kaba hatalı ölçünün tespit edilebildiği durumlara ait sonuçlardır. Tablolarda b analiz sonucu ortaya çıkan kaba hata sayısını göstermektedir. Tablo 4'te gösterilen ilk satır iki kaba hata yüklendiğinde yaklaşımın bir kaba hatalı ölçü yakaladığı örneklem sayısını göstermektedir. Rastgele durumda yakalanan 3572 örneklemin içinde h_3 , h_4 , h_5 , h_{10} ölçüleri bulunmakta ve bunlardan 2202 adet örnekleme yani toplama göre yaklaşık %44'ü komşu ölçü olan h_4 'e aittir. Bu durum batma etkisinde %89 olarak hesaplanmaktadır. Yani 5000 toplam örneklemden 4452'sinde h_4 komşu ölçüsü kaba hatalı tek ölçü olarak kestirilmiştir. Geriye kalan örneklemler (4611'den 4452 çıktığında elde edilen) diğer noktalar arasında paylaşılmıştır.

Tablo 4: İki kaba hatalı ölçü varken Baarda yöntemiyle gizleme ve batma etkileri için örneklem sayıları (4-8σ genlik)

b	Gizleme	Batma	Rastgele
1	2633	4611	3572
2	2367	4	1187
≥ 3	0	0	0
0	0	385	241
Toplam	5000	5000	5000

Bunun yanı sıra, rastgele duruma ait kaba hata verilen h_3 ve h_5 ölçülerinde tek başına kaba hatalı ölçü ortaya çıkması toplamda %27.18 oranında (1359 örnekleme) iken, bu durum gizleme etkisinde %52.66 olarak (2633 örnekleme) hesaplanmıştır (Tablo 4 ve 5). Rastgele duruma ait hesaplanan 3572 örneklemden geriye kalan 2213 örnekleme ise h_3 ve h_5 ölçüleri dışındaki ölçülerin tek başına kaba hatalı olarak tespit edildiği duruma aittir. Böylece; Baarda yaklaşımıyla 4-8σ genlikli üretilen kaba

hataların rastgele duruma göre farklı işaretli olarak üretilmesiyle gizleme etkisine maruz kalarak h_3 ve h_5 ölçülerinin tek kaba hatalı olarak tespit edilmesi oranı artmıştır. Diğer yandan $4-8\sigma$ genlikli üretilen kaba hataların rastgele duruma göre aynı işaretli üretilmesiyle batma etkisi ortaya çıkarak h_3 ve h_5 ölçülerine komşu olan h_4 ölçüsündeki tek kaba hata tespiti ani bir yükseliş göstermiştir (Tablo 4 ve 5).

Tablo 5: İki kaba hatalı ölçü varken Baarda yöntemiyle gizleme ve batma etkileri için oranlar ($4-8\sigma$ genlik)

b	Gizleme	Batma	Rastgele
1	52.66	92.22	71.44
2	47.34	0.08	23.74
≥ 3	0	0	0
0	0	7.7	4.82

Tablo 6'da KHBOM yöntemi kullanılarak ölçü kümesinde iki kaba hatalı ölçü varken gizleme ve batma etkisi incelenmiştir. Burada en başarılı sonucu verdiği için $\alpha = 0.05$ iken standart normal dağılımlı karşılaştırma değeri dikkate alınmıştır. Tablo 6'da h_3 ve h_5 ölçülerine kaba hata yüklendiğinde bir kaba hatalı ölçünün tespit edildiği durumlara ait oranlar elde edilmiştir. Buna göre batma etkisi yüzünden komşu ölçünün (h_4) kaba hatalı olarak tespit edilmesi rastgele duruma nazaran yaklaşık iki katı oranında olmaktadır. Yine gizleme etkisi de yalnızca h_5 ölçüsünde rastgele duruma göre yaklaşık iki katı oranda hesaplanmıştır. Tabloda her senaryo için hesaplanan oranların 100'den farkı ise iki kaba hatanın doğru şekilde tespit edilmesi oranını ifade etmektedir.

Tablo 6: İki kaba hatalı ölçü varken KHBOM yöntemiyle gizleme ve batma etkileri için oranlar ($4-8\sigma$ genlik)

h_i	Gizleme	Batma	Rastgele
3	0	0	0
4	47.06	1.88	24.38
5	0	92.36	46.24

7. Sonuç ve Tartışma

Geleneksel yöntemlerle kaba hata tespitinin, EKK yöntemine dayandığı için, yeterli etkinliğe sahip olmadığı bilinmektedir. Daha etkin bir yaklaşım arayışı jeodezik uygulamalara ait sonuçların doğru şekilde yorumlanması açısından halen önemini korumaktadır. Bu çalışmada önerilen yöntem kaba hatanın dengeleme modelinde bilinmeyen olarak dikkate alınması varsayımına dayanmaktadır. Bu doğrultuda bir nivelman ağı uygulaması ele alınarak simülasyon tekniği ile kaba hata(lar) üretilerek modelin geleneksel yöntemle göre avantaj ve dezavantajları üzerinde araştırma yapılmıştır. Araştırmanın ilk adımında; yaklaşımın hangi dağılıma ait karşılaştırma değeri ile kullanılması üzerinde durulmuştur. Önerilen model ve yaklaşımda aslında her bir ölçü bilinmeyen olarak ele alınmakta ve sonrasında hesaplanan bütün bilinmeyenlere ait varyanslar arasından en küçüğe sahip olanı seçilmektedir. Bu yöntemin nivelman ağında kullanılabilirliği ve hangi karşılaştırma değeriyle daha güvenilir sonuçlar elde edileceğinin araştırılması literatürde bulunmamaktadır. Böylece elde edilen sonuçlara göre; bir kaba hata için önerilen KHBOM yöntemiyle, geleneksel yöntemlerden Baarda'ya kıyasla ortalama %30 daha yüksek OBO elde edilmiştir. İki kaba hatalı durumda %30-40 civarında ve üç kaba hatalı durumda ise %10-20 kadar daha yüksek OBO sonuçları elde edilmiştir. KHBOM yönteminin farklı dağılımlarla gösterdiği başarı oranlarına bakıldığında en başarılı iki yöntem güven düzeyi 0.95 iken standart normal dağılım ve Tau dağılımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu iki yöntemle Baarda'ya göre bir kaba hatalı durumda %30, iki kaba hatalı durumda %38 ve üç kaba hatalı durumda %19 daha yüksek OBO elde edilmiştir. KHBOM yöntemi ve geleneksel yöntemler için gizleme ve batma etkisi sonuçlarının güvenilirliğini oldukça yanıltıcı oranda etkilemektedir. Bu sonuçların yanlış yorumlamalara neden olması kaçınılmazdır. Bu sebeple bu iki etkiye ait

sonuçlar dikkate alındığında Baarda ve KHBOM yöntemlerinin birbirlerine göre herhangi bir üstünlüğü olduğu söylenemez. Gizleme ve batma etkileri kaba hata tespitinde, sorunu oldukça karmaşık hale getirmekte ve sonuçların yanlış yorumlanmasına sebep olmaktadır. Buna rağmen KHBOM yönteminin jeodezik ağda farklı dağılımlara ait karşılaştırma değerleriyle kullanılabilirliği gösterilerek, geleneksel yöntemlere göre oldukça başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. KHBOM yöntemiyle kullanılan dağılımların her biri geleneksel yöntemlere nazaran daha iyi sonuçlar vermesine karşın aralarından standart normal dağılım ve Tau dağılımının KHBOM yöntemiyle daha etkin kullanılabileceği gösterilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Baarda, W. (1968). A testing procedure for use in geodetic networks. *Netherlands geodetic commission*, 2(5).
- Baselga, S. (2007). Critical limitation in use of τ test for gross error detection. *Journal of Surveying Engineering*, 133(2), 52-55.
- Cook, R. D., & Weisberg, S. (1982). *Residuals and influence in regression*. New York: Chapman and Hall.
- Demirel, H. (2003). *Dengeleme hesabi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi.
- Durdağ, U. M., Hekimoğlu, Ş., & Erdoğan, B. (2022). What is the relation between smearing effect of least squares estimation and its influence function?. *Survey Review*, 54(385), 320-331.
- Erdoğan, B., Hekimoğlu, Ş., Durdağ, U. M., & Öcalan, T. (2019). Empirical estimation of the power of test in outlier detection problem. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 63, 55-70.
- Gauss, C. F. (1823). *Theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae*. Göttingen: Henricus Dieterich.
- Grossmann, W. (1969). *Grundzüge der Ausgleichsrechnung*. Berlin: Springer.
- Hadi, A. S., & Simonoff, J. S. (1993). Procedures for the identification of multiple outliers in linear models. *Journal of the American statistical association*, 88(424), 1264-1272.
- Hampel, F. R. (1968). *Contributions to the theory of robust estimation*. Berkeley: University of California.
- Hampel, F. R., Ronchetti, E., Rousseeuw, P. J., & Stahel, W. A. (1986). *Robust statistics: the approach based on influence functions*. New York: John Wiley & Sons.
- Hekimoğlu, Ş., & Koch, K. R. (2000). How can reliability of the test for outliers be measured. *Allg. Vermes. Nachr.*, 107(7), 247-254.
- Hekimoğlu, Ş. (2006). Kaba hataların belirlenmesindeki sorunlar. *Harita Dergisi*, 73(135), 80 – 93.
- Hekimoğlu, Ş., & Erenoğlu, R. C. (2007). Effect of heteroscedasticity and heterogeneousness on outlier detection for geodetic networks. *Journal of Geodesy*, 81, 137-148.
- Hekimoğlu, Ş., Erdoğan, B., Soyacan, M., & Durdağ, U. M. (2014). Univariate approach for detecting outliers in geodetic networks. *Journal of surveying engineering*, 140(2), 04014006.
- Hekimoğlu, S., Erdoğan, B., & Erenoğlu, R. C. (2015). A new outlier detection method considering outliers as model errors. *Experimental Techniques*, 39, 57-68.
- Koch, K. R. (1999). *Parameter estimation and hypothesis testing in linear models*. Berlin: Springer.
- Kreyszig, E. (1968). *Statistische Methoden und ihre Anwendungen*, 3., Göttingen: durchgesehene Auf.
- Markov, A. A. (1912). *Wahrscheinlichkeitsrechnung*. Leipzig: BG Teubner.
- Maronna, R. A., Martin, R. D., & Yohai, V. J. (2006). *Robust statistics theory and methods*. New York: John Wiley & Sons.
- Niemeier, W. (1985). "Anlage von Überwachungsnetzen." *Geodaetische netze in landes-und ingenieurvermessung II.*, H. Pelzer, ed., (pp: 527–558). Stuttgart: Verlag Konrad Wittwer.
- Pope, A. J. 1976. *The statistics of residuals and the detection of outliers* (No. NOS-65-NGS-1).
- Rousseeuw, P. J., & Leroy, A. M. (1987). *Robust regression and outlier detection*. New York: Wiley.
- Schaffrin, B., & Wang, Z. W. (1994). Multiplicative outlier search using homBLUP and an equivalence theorem. *manuscripta*

geodaetica, 20(1), 21-26.

Welsch, W., Heunecke, O., & Kuhlmann, H. (2000). *Handbuch Ingenieurgeodäsie*. Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen, 3. Berlin: Wichmann.

Xu, P. (2005). Sign-constrained robust least squares, subjective breakdown point and the effect of weights of observations on robustness. *Journal of Geodesy*, 79(1-3), 146-159.

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi

Journal of Geodesy and Geoinformation

İÇİNDEKİLER - CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Deprem sonrası rahatlama evresi modelleme stratejilerinin GPS zaman serileri hata karakteri ve deterministik büyüklüklere etkisi
Effect of modelling strategies for post-seismic relaxation on error characteristics of GPS time series and
deterministic parameters 96-111
Hüseyin DUMAN
- Research on 3D reconstruction of small size objects using structure from motion photogrammetry via smartphone images
Küçük boyutlu nesnelerin 3 boyutlu modellemesi için akıllı telefon görüntüleri kullanılarak hareketten nesne oluşturma
fotogrametrisine dayalı bir araştırma 12-123
Duygu ARICAN, Ferat Furkan GÖKSU, Nursu TUNALIOĞLU, Taylan ÖCALAN
- Türkiye’de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal ve mekânsal
analizi
Spatiotemporal analysis of forest fires occurring in Türkiye between 2015 and 2022 with geographical information systems... 136-150
Yasin DEMİREL, Tark TÜRK
- Analysis and visualization of crime data using GIS technology: Understanding crime patterns and distribution
Suç olaylarının CBS ile analizi ve görselleştirilmesi: Suçun kalıplarını ve dağılımını anlamak 151-163
Gamze BEDİROĞLU, H. Ebru ÇOLAK
- Jeodezik ağlarda kaba hatanın bilinmeyen olarak modellenmesi
Modeling outliers as unknown in geodetic networks 164-177
Utkan Mustafa DURDAĞ
- Derleme/Review**
- Türkiye kadastrounda güncelleme çalışmaları sırasında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri
Problems encountered during update studies in Turkish cadastre and solution suggestions 124-135
Alper ARSLAN, Cemal BIYIK